

T S7/5/1

7/5/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2004 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05877918 **Image available**

OPTICAL SYSTEM

PUB. NO.: 10-161018 [JP 10161018 A]

PUBLISHED: June 19, 1998 (19980619)

INVENTOR(s): KENNO KOKICHI

APPLICANT(s): OLYMPUS OPTICAL CO LTD [000037] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.: 08-315930 [JP 96315930]

FILED: November 27, 1996 (19961127)

INTL CLASS: [6] G02B-013/18; G02B-017/08

JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment)

JAPIO KEYWORD: R011 (LIQUID CRYSTALS); R012 (OPTICAL FIBERS); R098
(ELECTRONIC MATERIALS -- Charge Transfer Elements, CCD & BBD)
; R101 (APPLIED ELECTRONICS -- Video Tape Recorders, VTR);
R102 (APPLIED ELECTRONICS -- Video Disk Recorders, VDR)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized optical system which forms a sharp small- distortion image even with a wide field angle.

SOLUTION: An optical system is an eccentric optical system 10 which is arranged eccentrically and curved surfaces 3 and 4 constituting the optical system have at least one surface in a rotationally asymmetrical surface shape having an axis of rotational symmetry neither inside nor outside the surfaces. To compensate a rotationally asymmetrical aberration generated owing to the eccentricity, a condition of $-1000 < FX/FXn < 1000$ is met, where FX is the X-directional focal length of the optical system and FXn is the X-directional focal length of a part of the rotationally asymmetrical surface that an on-axis main light beam impinges on.

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-161018

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月19日

(51) Int.Cl.⁴

G 0 2 B 13/18
17/08

識別記号

F I

G 0 2 B 13/18
17/08

A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 53 頁)

(21) 出願番号 特願平8-315930

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 11 月 27 日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号

(72) 発明者 研野孝吉

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号 オリン
パス光学工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 荻澤 弘 (外 7 名)

(54) 【発明の名称】 光学系

(57) 【要約】

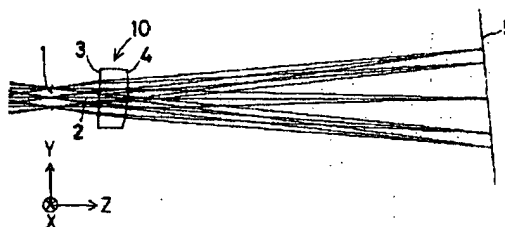
【課題】 広い画角においても明瞭で、歪みの少ない像を与える小型の光学系。

【解決手段】 光学系が偏心して配置された偏心光学系 10 であり、光学系を構成する曲面 3、4 が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも 1 面有し、かつ、偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、光学系の X 方向の焦点距離を F X、回転非対称な面の軸上主光線が当たる部分の X 方向の焦点距離 F X n とするとき、

$$-1000 < F X / F X n < 1000$$

・・・ (1-1)

なる条件を満足する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学系が偏心して配置された偏心光学系であり、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、かつ、

偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内*

$$-1000 < FX/FXn < 1000$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【請求項2】 光学系が偏心して配置された偏心光学系であり、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、かつ、

偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内*

$$-1000 < FY/FYn < 1000$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【請求項3】 光学系が偏心して配置された偏心光学系であり、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、かつ、

偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光*

$$0.01 < |FY/FX| < 100$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学系に関し、特に、偏心して配置された反射面により構成されたパワーを有する偏心光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、小型の反射偏心光学系の周知なものとして、特開昭59-84201号のものがある。これは、シリンドリカル反射面による1次元受光レンズの発明であり、2次元の撮像はできない。また、特開昭62-144127号のものは、上記発明の球面収差を低減するために、同一シリンドリカル面を2回反射に使うものである。また、特開昭62-205547号においては、反射面の形状として非球面反射面を使うことを示しているが、反射面の形状には言及していない。

【0003】また、米国特許第3,810,221号、同第3,836,931号の2件は、何れもレフレックスカメラのファインダー光学系に回転対称非球面鏡と対称面を1面しか持たない面を持ったレンズ系を用いた例が示されている。ただし、対称面を1面しか持たない面

*をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入射面側から前記主光線とX方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをNA'X、前記平行光束の幅dを前記NA'Xで割った値をFXとし、前記回転非対称面の軸上主光線が当たる部分のX方向の焦点距離FXnとすると、

$$\dots (1-1)$$

10※をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入射面側から主光線とY方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がY-Z面内でなす角のsinをNA'Y、前記平行光束の幅dを前記NA'Yで割った値をFYとし、前記回転非対称面の軸上主光線が当たる部分のY方向の焦点距離FYnとすると、

$$\dots (2-1)$$

★光学系の入射面側から前記主光線とX方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをNA'X、前記平行光束の幅dを前記NA'Xで割った値をFXとし、また、前記光学系の入射面側から主光線とY方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がY-Z面内でなす角のsinをNA'Y、前記平行光束の幅dを前記NA'Yで割った値をFYとすると、

$$\dots (3-1)$$

30は、観察虚像の傾きを補正する目的で利用されている。

【0004】また、特開平1-257834号（米国特許第5,274,406号）は、背面投影型テレビにおいて像歪みを補正するために対称面を1面しか持たない面を反射鏡に使用した例が示されているが、スクリーンへの投影には投影レンズ系が使われ、像歪みの補正に対称面を1面しか持たない面が使われている。

【0005】また、特開平7-333551号には、観察光学系としてアナモルフィック面とトーリック面を使用した裏面鏡タイプの偏心光学系の例が示されている。

40しかし、像歪みを含め収差の補正が不十分である。

【0006】以上の何れの先行技術も対称面を1面しか持たない面を使い、折り返し光路に裏面鏡として使用したものではない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の回転対称な光学系では、屈折力を有する透過回転対称レンズに屈折力を負担させていたために、収差補正のために多くの構成要素を必要としていた。しかし、これら従来技術の偏心光学系では、結像された像の収差が良好に補正され、なおかつ、特に回転非対称なディストーションが良好に補正

されていないと、結像された図形等が歪んで写ってしまい、正しい形状を記録することができなかった。

【0008】また、光学系を構成する屈折レンズが光軸を軸とした回転対称面で構成された回転対称光学系では、光路が直線になるために、光学系全体が光軸方向に長くなってしまい、装置が大型になってしまう問題があった。

【0009】本発明は従来技術のこのような問題点を鑑みてなされたものであり、その目的は、広い画角においても明瞭で、歪みの少ない像を与える小型の光学系を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の光学系は、光学系が偏心して配置された偏心光学系において、光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、偏心により発生する回転非対称な収差*

$$-1000 < FX / FXn < 1000$$

なる条件を満足することを特徴とするものである。

【0012】その第2の光学系は、光学系が偏心して配置された偏心光学系であり、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、かつ、偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向*

$$-1000 < FY / FYn < 1000$$

なる条件を満足することを特徴とするものである。

【0013】その第3の光学系は、光学系が偏心して配置された偏心光学系であり、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、かつ、偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入★

$$0.01 < |FY / FX| < 100$$

なる条件を満足することを特徴とするものである。

【0014】まず、以下の説明において用いる座標系について説明する。物点中心を通り、絞り中心を通過し、像面中心に到達する光線を軸上主光線とし、光学系の第1面に交差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸とし、そのZ軸と直交しかつ光学系を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交しかつ前記Y軸と直交する軸をX軸とする。また、光線の追跡方向は、物体から像面に向かう順光線追跡で説明する。

【0015】一般に、球面レンズでのみ構成された球面レンズ系では、球面により発生する球面収差と、コマ収差、像面湾曲等の収差をいくつかの面でお互いに補正し

＊をこの回転非対称面形状で補正することを特徴とするものである。

【0011】そして、その第1の光学系は、光学系が偏心して配置された偏心光学系であり、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、かつ、偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正するために、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入射面側から前記主光線とX方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをNA' X、前記平行光束の幅dを前記NA' Xで割った値をFXとし、前記回転非対称面の軸上主光線が当たる部分のX方向の焦点距離FXnとすると、

$$\dots (1-1)$$

※向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入射面側から主光線とY方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がY-Z面内でなす角のsinをNA' Y、前記平行光束の幅dを前記NA' Yで割った値をFYとし、前記回転非対称面の軸上主光線が当たる部分のY方向の焦点距離FYnとすると、

$$\dots (2-1)$$

★射面側から前記主光線とX方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをNA' X、前記平行光束の幅dを前記NA' Xで割った値をFXとし、また、前記光学系の入射面側から主光線とY方向に微少量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がX-Z面内でなす角のsinをNA' Y、前記平行光束の幅dを前記NA' Yで割った値をFYとすると、

$$\dots (3-1)$$

あい、全体として収差を少なくする構成になっている。一方、少ない面数で収差を良好に補正するためには、非球面等が用いられる。これは、球面で発生する各種収差自体を少なくするためである。

【0016】しかし、偏心した光学系においては、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。

【0017】以下に、本発明の構成と作用について説明する。基本的な本発明の構成は、光学系が偏心して配置された偏心光学系において、光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、偏心により発生する

回転非対称な収差をその回転非対称面形状で補正することを特徴とするものである。

【0018】回転対称な光学系が偏心した場合、回転非対称な収差が発生し、これを回転対称な光学系でのみ補正することは不可能である。この偏心により発生する回転非対称な収差は、像歪、像面湾曲、さらに軸上でも発生する非点収差、コマ収差、がある。図99は偏心して配置された凹面鏡Mにより発生する像面湾曲を、図100は偏心して配置された凹面鏡Mにより発生する軸上非点収差を、図101は偏心して配置された凹面鏡Mにより発生する軸上コマ収差を示す図である。本発明は、このような偏心による発生する回転非対称な収差の補正のために、回転非対称な面を光学系中に配置して、前記回転非対称な収差を補正している。

【0019】偏心して配置された凹面鏡Mにより発生する回転非対称な収差に、図99に示したような回転非対称な像面湾曲がある。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡Mに入射した光線は、凹面鏡Mに当たって反射結像されるが、光線が凹面鏡Mに当たって以降、像面までの後側焦点距離は、光線が当たった部分の曲率の半分になる。すると、図99に示すように、軸上主光線に対して傾いた像面を形成する。このように回転非対称な像面湾曲を補正することは、回転対称な光学系では不可能であった。この傾いた像面湾曲を補正するには、凹面鏡Mを回転非対称な面で構成し、この例ではY軸正の方向*

$$\begin{aligned} Z = & C_0 + C_1 y + C_2 x \\ & + C_3 y^2 + C_4 yx + C_5 x^2 \\ & + C_6 y^3 + C_7 y^2 x + C_8 yx^2 + C_9 x^3 \\ & + C_{10} y^4 + C_{11} y^3 x + C_{12} y^2 x^2 + C_{13} yx^3 + C_{14} x^4 \\ & + C_{15} y^5 + C_{16} y^4 x + C_{17} y^3 x^2 + C_{18} y^2 x^3 + C_{19} yx^4 \\ & + C_{20} x^5 + C_{21} y^6 + C_{22} y^5 x + C_{23} y^4 x^2 + C_{24} y^3 x^3 + C_{25} y^2 x^4 + C_{26} yx^5 + C_{27} x^6 \\ & + C_{28} y^7 + C_{29} y^6 x + C_{30} y^5 x^2 + C_{31} y^4 x^3 + C_{32} y^3 x^4 + C_{33} y^2 x^5 + C_{34} yx^6 + C_{35} x^7 \\ & + C_{36} y^8 + C_{37} y^7 x + C_{38} y^6 x^2 + C_{39} y^5 x^3 + C_{40} y^4 x^4 + C_{41} y^3 x^5 + C_{42} y^2 x^6 + C_{43} yx^7 + C_{44} x^8 \\ & \dots \dots \dots (a) \end{aligned}$$

ただし、 C_m (m は2以上の整数)は係数である。

【0024】上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面共に対称面を持つことはないが、本発明ではxの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式(a)においては、 $C_1, C_3, C_5, C_{11}, C_{13}, C_{15}, C_{17}, C_{19}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}, C_{33}, C_{35}, C_{37}, C_{39}, C_{41}, C_{43}, \dots$ の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0025】また、yの奇数次項を全て0にすることによって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式(a)においては、

* (図の上方向)に対して曲率を強く(屈折力を強く)し、Y軸負の方向に対して曲率を弱く(屈折力を弱く)することにより補正することができる。また上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を凹面鏡Mとは別に光学系中に配置することにより、少ない構成枚数でフラットの像面を得ることが可能となる。

【0020】次に、回転非対称な非点収差について説明する。前記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは軸上光線に対しても、図100に示すような非点収差が発生する。この非点収差を補正するためには、前記説明と同様に、回転非対称面のX軸方向の曲率とY軸方向の曲率を適切に変えることによって可能となる。

【0021】さらに、回転非対称なコマ収差について説明する。前記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図101に示すようなコマ収差が発生する。このコマ収差を補正するためには、回転非対称面のX軸の原点から離れるに従って面の傾きを変えると共に、Y軸の正負によって面の傾きを適切に変えることによって可能となる。

【0022】上記の回転非対称面としては、対称面を1つのみ有することを特徴とする面対称自由曲面を使用することが望ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面とは以下の式で定義されるものである。

【0023】

$C_1, C_3, C_5, C_7, C_9, C_{11}, C_{13}, C_{15}, C_{17}, C_{19}, C_{21}, C_{23}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}, C_{33}, C_{35}, \dots$ の各項の係数を0にすることによって可能であり、また、以上のような対称面を持つことにより製作性を向上することが可能となる。

【0026】上記Y-Z面と平行な対称面、X-Z面と平行な対称面の何れか一方を対称面とすることにより、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正することが可能となる。

【0027】上記定義式は、1つの例として示したものであり、本発明の特徴は対称面を1面のみ有する回転非対称面が偏心により発生する回転非対称な収差を補正す

ることが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0028】また、回転非対称面の対称面は、光学系の各面の偏心方向である偏心面と略同一面内に配置されていることが望ましい。

【0029】回転非対称面は偏心して構成された光学系に配置され、偏心して配置された各面の偏心面と略同一の面を対称面となるような自由曲面とすることで、対称面を挟んで左右両側を対称にすることができ、収差補正と製作性を大幅に向上できる。

【0030】また、回転非対称面を反射面に用いることが望ましい。上記の自由曲面を反射面として構成することにより、収差補正上良い結果を得られる。反射面に回転非対称面を用いると、透過面に用いる場合と比べて、色収差は全く発生しない。また、面の傾きが少なくても光線を屈曲させることができるために、他の収差発生も少ない。つまり、同じ屈折力を得る場合に、反射面の方が屈折面に比べて収差の発生が少なくすむ。

【0031】その場合、反射面は、全反射作用又は反射作用を有する面であることが望ましい。その反射面は、臨界面を超えて光線が入射するように、光線に対して傾けて配置された全反射面で構成することにより、高い反射率にすることが可能となる。また、反射面を構成する*

$$-1000 < FX / FXn < 1000$$

なる条件を満足することが望ましい。

【0034】本光学系の各面の焦点距離について説明する。図102に示すように、光学系Sの偏心方向をY軸方向に取った場合に、光学系Sの軸上主光線と平行なY-Z面内の高さdの光線を物体側から入射し、光学系Sから射出したその平行光と軸上主光線のY-Z面に投影したときのなす角のsinをNA' Yとし、d/NA' YをY方向の焦点距離FYとし、同様に定義してX方向の焦点距離FXとし、また、本発明による特定の回転非対称面Aの軸上主光線が当たる部分のX方向の焦点距離※

$$-100 < FX / FXn < 100$$

なる条件を満足することが、回転非対称な収差を良好に補正でき、収差補正上好ましい。

$$-10 < FX / FXn < 10$$

なる条件を満足することが、回転非対称な収差を良好に補正でき、収差補正上好ましい。

【0038】また、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、光学系の入射☆

$$-1000 < FY / FYn < 1000$$

なる条件を満足することが望ましい。

【0039】上記条件式(2-1)の下限-1000と上限1000をそれぞれ越えると、回転非対称面の焦点距離がそれぞれ負側と正側に、光学系全体の焦点距離F◆

$$-100 < FY / FYn < 100$$

*面にアルミニウム又は銀等の金属薄膜を表面に形成した反射面、又は、誘電体多層膜で形成された反射面で構成することが好ましい。金属薄膜で反射作用を有する場合は、手軽に高反射率を得ることが可能となる。また誘電体反射膜の場合は、波長選択性や、吸収の少ない反射膜を形成する場合に有利となる。

【0032】また、対称面を1面しか持たない回転非対称面は、裏面鏡として用いることができる。上記の反射面を裏面鏡で構成することにより、像面湾曲の発生を少なくすることができる。これは、同じ焦点距離の凹面鏡を構成する場合に、裏面鏡の方が屈折率の分曲率半径が大きくてすみ、特に像面湾曲収差の発生が少なくすむからである。

【0033】また、物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、光学系の入射面側から主光線とX方向に微量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをNA' X、その平行光束の幅dをNA' Xで割った値をFXとし、その回転非対称な面の軸上主光線が当たる部分のX方向の焦点距離FXnとすると、

$$\dots (1-1)$$

※FXnとすると、上記(1-1)なる条件式を満足することが、収差補正上好ましい。

【0035】上記条件式(1-1)の下限-1000と上限1000をそれぞれ越えると、回転非対称面の焦点距離がそれぞれ負側と正側に、光学系全体の焦点距離FXに比べて短くなりすぎ、強い屈折力を回転非対称面が持ちすぎてしまい、この回転非対称な面で発生する収差を他の面で補正できなくなる。

【0036】さらに好ましくは、

★【0037】さらに好ましくは、

$$\dots (1-2)$$

☆面側から主光線とY方向に微量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がY-Z面内でなす角のsinをNA' Y、その平行光束の幅dをNA' Yで割った値をFYとし、その回転非対称な面の軸上主光線が当たる部分のY方向の焦点距離FYnとすると、

$$\dots (2-1)$$

◆Yに比べて短くなりすぎ、強い屈折力を回転非対称面が持ちすぎてしまい、この回転非対称な面で発生する収差を他の面で補正できなくなる。

【0040】さらに好ましくは、

$$\dots (2-2)$$

なる条件を満足することが、回転非対称な収差を良好に補正でき、収差補正上好ましい。

*

$$-10 < FY/FYn < 10$$

なる条件を満足することが、回転非対称な収差を良好に補正でき、収差補正上好ましい。

*

$$0.01 < |FY/FX| < 100$$

なる条件式を満足することが、収差補正上好ましい。

【0043】上記条件式(3-1)の下限0.01と上限100を越えると、光学系全体の焦点距離がX方向と★

$$0.1 < |FY/FX| < 10$$

なる条件を満足することが、回転非対称な収差を良好に補正でき、収差補正上好ましい。

☆

$$0.5 < |FY/FX| < 2$$

なる条件を満足することが、回転非対称な収差を良好に補正でき、収差補正上好ましい。

【0046】また、本発明の光学系の面は第1の反射面のみから構成され、光線は第1の反射面で反射し、第1の反射面に入射するときと異なる方向に反射されるようにすることができる。この第1面が軸上主光線に対して傾いて配置されていると、この面で反射するときに、偏心による偏心収差が発生する。この偏心収差を補正するには、その反射面を回転非対称面で構成することにより、初めて回転非対称な収差を良好に補正することが可能となる。回転非対称面で反射面を構成しないと、回転非対称な収差の発生が大きく、解像力が落ちてしまう。さらに、上記各条件式(1-1)～(3-3)を満足することにより、収差補正がより効果的になる。

【0047】また、本発明の光学系の面は第1の反射面と第1の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、再び第1の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出するようにすることができる。透過面を1面増やすことにより、光学系のベッツパールの和を小さくすることができる。正のパワーの透過面と反射面では、両方で打ち消し合うようなベッツパールの和になり、パワーを分散させてかつベッツパールの和を小さくし、像面湾曲を補正することが可能となる。

【0048】さらに好ましくは、第1の透過面と第1の反射面は、軸上主光線が通過又は反射する領域で同じ符号のパワーを持つことが、上述のように像面湾曲収差に対して良い結果を与える。

【0049】また、本発明の光学系の面は第1の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出するようにすることができる。上記の第1の透過面を2面に分割することにより、像面湾曲収差に更に良い結果を与える。また、第1の透過面と第2の透過面で透過型レンズを構成する場合には、第1の反射面の光線の広がりを押さえることが可能となり、

*【0041】さらに好ましくは、

$$\dots (2-3)$$

※【0042】次に、上記光学系全体の焦点距離をFXとFYとすると、

$$\dots (3-1)$$

★Y方向で異なりすぎ、良好な像歪みを得ることが難しくなり、像が歪んでしまう。

【0044】さらに好ましくは、

$$\dots (3-2)$$

☆【0045】

$$\dots (3-3)$$

第1の反射面を小型にすることが可能である。また、光線第1の透過面、第1の反射面、第2の透過面の順番に進むように構成することによって、第1の反射面を裏面鏡として構成することが可能となる。第1の反射面を裏面鏡で構成すると、表面鏡で構成するよりも更に像面湾曲収差に対して良い結果を得られる。さらに、第1の透過面と第2の透過面のどちらか又は両方を第1の反射面と異なる符号のパワーを持たせることにより、像面湾曲は略完全に補正することが可能となる。一方、第1の透過面と第2の透過面のパワーを略ゼロにすることにより、色収差に対して良い結果を得られる。これは、第1の反射面では、原理上色収差の発生がないため、色収差を他の面と補正し合う必要がない。そこで、第1の透過面と第2の透過面でも、色収差が発生しないようにパワーを略ゼロにすることが、全体の光学系で色収差の少ない光学系を構成することが可能となる。

【0050】また、本発明の光学系の面は第1の反射面と第2の反射面と第1の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、再び第1の透過面を透過するようにすることができる。光学系を第1・第2の反射面と第1の透過面で構成すると、光軸を2つの反射面で折り曲げることができ、光学系を小型にすることが可能となる。また、反射回数が偶数回となることから、裏像にすることなく結像することができる。また、2つの反射面のパワーを変えることが可能となり、正負又は負正の組み合わせにして、主点位置を光学系の前に出したり後ろに出したりすることができる。これは、像面湾曲にも良い結果を与えることができる。さらに、2つの反射面を裏面鏡にすることで、像面湾曲をほとんどなくすることも可能である。

【0051】また、本発明の光学系の面は第1の反射面と第2の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、第2の透過面を透過するようにすることができる。光学系を第1・第2の反射面と第1・第2の透過面で構成すると、光

軸を2つの反射面で折り曲げることができ、光学系を小型にできることは、上記と同様である。さらに、透過面が2つあることから、主点位置、像面湾曲に対してはより良い結果を得ることができる。さらに、2つの反射面を裏面鏡にすることで、より良い収差性能が得られる。

【0052】上記の場合、光学系の光路が光路中で交差するようにしてもよい。光路を交差することにより、光学系を小型に構成することが可能となる。この構成により、物体面と像面を略垂直に配置することが可能となり、光学系と結像位置に配置される撮像素子等を略平行に配置することが可能となり、高さの低い撮像光学系等を構成することが可能となる。

【0053】また、上記の場合、光学系の光路が光路中で交差しないようにしてもよい。交差しない光路をとることにより、「Z」字型の光路をとることが可能となる。すると、反射面での偏心角が小さく構成でき、偏心収差の発生を少なくできるので、偏心収差の補正上好ましい。また、物体から光学系までの光路と光学系から像面までの光路が略平行に配置することが可能となり、特に観察光学系や接眼光学系に使用する場合には、物体を観察する方向と光学系を通して観察する方向が同一方向となり、観察時に違和感がない。

【0054】また、上記の場合、光学系の第1の透過面と第2の反射面を同一の面形状とすることができる。第1透過面と第2反射面が同一形状だと、形成する面は3面となり、製作性が向上する。

【0055】また、上記の場合、光学系の第1の反射面と第2の透過面が同一の面形状とすることができる。第1反射面と第2透過面が同一形状だと、形成する面は3面となり、製作性が向上する。

【0056】また、本発明の光学系の面は第1の反射面と第2の反射面と第3の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、第3の反射面で反射され、第2の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出するようにすることができる。3つの反射面と2つの透過面で光学系を構成すると、更に自由度が増し、収差補正上好ましい。

【0057】この場合、光学系の第1の透過面と第2の反射面が同一の面形状、あるいは、第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状、あるいは、第1の透過面と第3の反射面が同一の面形状、あるいは、第2の透過面と第2の反射面が同一の面形状とすることができる。このように、少なくとも2つの面を同一形状にすることによって製作性が向上する。

【0058】また、本発明の光学系の面は少なくとも第1の反射面と第2の反射面と第3の反射面と第4の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射

され、第2の反射面で反射され、第3の反射面で反射され、第4の反射面で反射され、第2の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出するようにすることができる。4つの反射面と2つの透過面で光学系を構成すると、さらに自由度が増し、収差補正上好ましい。

【0059】この場合、光学系の第1の透過面と第2の反射面が同一の面形状、光学系の第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第2の反射面と第4の反射面が同一の面形状、光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面が同一の面形状、光学系の第1の透過面と第2の反射面、第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第1の透過面と第2の反射面、第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第1の反射面と第3の反射面、第2の反射面と第4の反射面が同一の面形状、光学系の第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面、第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第1の透過面と第2の反射面、第2の透過面と第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状、光学系の第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状、又は、光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状とすることができる。このように、少なくとも2つの面を同一形状にすることによって製作性が向上する。

【0060】本発明の光学系は、最初に回転非対称な面を加工して、その後回転対称な面を加工することにより製作することができる。最初に回転非対称面を形成した後には回転対称面を加工すると、各面の位置を合わせやすくなり、製作精度が向上する。

【0061】また、本発明の光学系は、少なくとも1面の回転非対称面を加工した光学部品と他の面を加工した光学部品とを接合して製作することができる。回転非対称面を形成した光学部品と、他の面を加工した光学部品とを接合することによって偏心光学系を製作すると、回転非対称面を平面の薄い部材に加工することになり、加工中の部品の歪み等に起因する加工精度の悪化が避けられる。また、回転非対称面を射出成形により製作する場合は、なるべく光学部品が薄い方が射出成形後の樹脂の歪みを少なくすることが可能である。

【0062】また、接眼光学系として構成され、折り曲げ光路を有する光学系において、その折り曲げ光路を構成する反射面がパワーを持つものとすることができる。接眼光学系を折り曲げ光路で構成すると、反射面にパワーを持たせることが可能となり、透過型レンズを省略す

ることが可能となる。さらに、光路を折り曲げたことにより、光学系を小型に構成することが可能となる。さらに好ましくは、倒立プリズムにパワーを持たせることもできる。

【0063】また、結像光学系として構成され、折り曲げ光路を有する光学系において、その折り曲げ光路を構成する反射面がパワーを持つものとして構成することができる。結像光学系を折り曲げ光路で構成すると、反射面にパワーを持たせることが可能となり、透過型レンズを省略することが可能となる。さらに、光路を折り曲げたことにより、光学系を小型に構成することが可能となる。さらに好ましくは、倒立プリズムにパワーを持たせることもできる。

【0064】上記の折り曲げ光路を有する結像光学系と接眼光学系とよりアフォーカル光学系として構成することができる。例えば、倒立像を得るためのプリズム光学系にパワーを持たせ、結像光学系として構成することができ、光学系を小型に構成することが可能となる。さらに好ましくは、特にカメラ等のファインダー光学系の実像式ファインダーの対物レンズを、倒立プリズムに回転非対称面を使用した光学系により構成することにより、小型化と構造の簡略化が達成できる。

【0065】また、このアフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られるものとして構成することができる。特に人間が観察する場合には、正立像にすることにより見やすさが格段に向上する。

【0066】また、結像光学系と上記の折り曲げ光路を有する接眼光学系によりアフォーカル光学系として構成することができる。このような組み合わせにより、特に構成が複雑となる焦点距離が短いアフォーカル光学系を小型にすることが可能となる。さらに好ましくは、焦点距離100mm以下の接眼光学系では、小型にする効果が大きい。

【0067】この場合にも、このアフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られるものとして構成することができる。特に人間が観察する場合には、正立像にすることにより見やすさが格段に向上する。

【0068】また、上記の折り曲げ光路を有する結像光学系と上記の折り曲げ光路を有する接眼光学系とよりアフォーカル光学系として構成することができる。このような組み合わせにより、アフォーカル光学系をさらに小型にすることが可能である。さらに好ましくは、倒立プリズムに非回転対称面を使用し、このプリズム光学系にパワーを持たせて、対物レンズ又は接眼レンズの構造を簡略化又は省略することにより、構造を簡単にすることが望ましい。

【0069】この場合にも、このアフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られるものとして構成することができる。特に人間が観察する場合には、正立像にすることにより見やすさが格段に向上する。

【0070】また、本発明の光学系は、カメラ光学系として構成され、カメラ内部の光学手段として配置することができる。このようにすると、カメラ光学系を小型に構成することが可能となる。

【0071】この場合、カメラ光学系をカメラの実像式ファインダー光学系の内部、あるいは、虚像式ファインダー光学系の内部に配置することができる。このようにすると、小型でかつ収差の少ないファインダー光学系を提供することが可能となる。さらに好ましくは、回転非対称面を裏面鏡として使用し、倒立プリズムの反射面を裏面鏡として構成することにより、部品点数の少ないファインダー光学系を提供することが可能となる。

【0072】また、このカメラ光学系をファインダー光学系の対物レンズ系、又は、ファインダー光学系の接眼光学系の内部に配置することができる。このようにすると、光学系を小型に構成することが可能となる。特に、接眼光学系を回転非対称な反射面で構成し、さらに好ましくは、プリズム光学系の裏面反射面を回転非対称面で構成すると、像歪みの補正された接眼光学系を構成することができる。また、対物レンズ系に回転非対称面を用いると、上記像歪みはもちろんのこと、色収差にも良い結果を得ることが可能となる。さらに好ましくは、回転非対称面を裏面鏡として用いることにより、収差の発生を少なくすることが可能となる。

【0073】上記の本発明のカメラ光学系をファインダー光学系の対物レンズ系の内部に配置する場合、対物レンズ系の物体側に少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズを配置し、そのレンズよりも観察側にその光学系を配置しても、対物レンズ系の物体側にそのカメラ光学系を配置し、その観察側に少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズを配置しても、対物レンズ系を、物体側に配置された少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズと、その観察側に配置されたそのカメラ光学系と、その観察側に配置された少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズとを有するように構成しても、また、そのカメラ光学系と、全体の屈折力がゼロより大きい正レンズ群とからなる2群にて構成しても、さらに、そのカメラ光学系と、全体の屈折力がゼロより小さい負レンズ群とからなる2群にて構成してもよい。

【0074】すなわち、対物レンズ系の物体側にさらに別の光学系を配置することにより、光学系の性能を向上することが可能となる。物体側に光学系を配置することにより、本発明により折り曲げ光路を持つカメラ光学系に入射する光線の入射径と画角を大きくすることが可能となり、Fナンバーを明るくしたり、画角を広くしたカメラファインダー光学系を構成することが可能となる。特に、正の光学系を物体側に配置した場合は、全体として焦点距離が長くFナンバーが明るいファインダー光学系を構成する場合に好ましい。また、負の光学系を物体側に配置すると、観察画角の広い広画角の光学系を

構成する場合に効果がある。物体側に負の光学系を配置することによりカメラ光学系に入射する物体からの広い画角の光線を収斂させることが可能となり、プリズム光学系の大きさを大きくすることなく広画角とすることが可能となる。さらに好ましくは、負の光学系を負のパワーを持つレンズで構成する場合には、負レンズで発生する像歪み、倍率の色収差が大きく発生するために、負レンズで発生する収差とプリズム光学系で発生する収差をお互いに打ち消し合うようにすることが、収差補正上良い結果が得られる。また、負レンズは、物体側の曲率半径よりプリズム光学系側の曲率半径が小さいことが負レンズで発生する像歪みを少なくする上で好ましい。さらに、この負レンズは回転対称面で構成することによって、レンズの製作性が向上する。また、当然負レンズを回転非対称面で構成することも可能であり、この場合は像歪みをより良好に補正することが可能となる。また、負レンズを回折光学素子又はフレネルレンズで製作することによって薄いレンズとすることが可能となり、小型の光学系を構成したい場合に効果的である。

【0075】また、本発明により折り曲げ光路を持つカメラ光学系の像側にさらに別の光学系を配置することにより、光学系の性能を向上することが可能となる。像側に別の光学系を配置することにより、折り曲げ光路を持つカメラ光学系を射出する光線の射出瞳位置をコントロールしたり、画角を大きくすることが可能となる。特に、正の光学系を像側に配置した場合は、射出瞳を撮像面に対して遠くに配置することが可能となる。また、負の光学系を像側に配置した場合は、画角を広く取る場合に効果的である。

【0076】また、本発明により折り曲げ光路を持つカメラ光学系の物体側と像側にさらに別の光学系を配置することにより、光学系の性能をより一層向上することが可能となる。特に、物体側に正の光学系を配置することにより、焦点距離が長くFナンバーの明るい望遠タイプレンズを構成する場合に好ましい。また、負の光学系を物体側に配置すると、観察画角の広い広画角の光学系を構成する場合に効果がある。さらに、像側の光学系は、上記のように、射出瞳位置を遠くにすることは正、画角を広くすることは負の光学系を配置することが好ましい。

【0077】また、本発明により折り曲げ光路を持つカメラ光学系と正の光学系の少なくとも2つのレンズ群から光学系を構成することにより、収差補正が効果的に行うことが可能となる。正の光学系と組み合わせる折り曲げ光路を持つカメラ光学系を正の焦点距離で構成する場合には、収差補正作用が2つのレンズ群に分担され、収差の発生が少なくなり、負の焦点距離で構成する場合には、負レンズ群により画角を広くとることが可能となる。

【0078】また、本発明により折り曲げ光路を持つカ

メラ光学系と負の光学系の少なくとも2つのレンズ群から光学系を構成することにより、収差補正を効果的に行うことが可能となる。負の光学系と組み合わせる折り曲げ光路を持つカメラ光学系を正の焦点距離で構成する場合には、負レンズ群により画角を広くとることが可能となり、負の焦点距離で構成する場合には、収差補正作用が2つのレンズ群に分担され、収差の発生が少なくなる。

【0079】また、ファインダー光学系の対物レンズ系が、本発明によるカメラ光学系と別のレンズ群で構成される場合、それらの群間隔を変化させることによって変倍をすることができる。このカメラ光学系と他の光学系の群間隔を変化させて変倍することにより、小型の変倍ファインダー光学系を構成することが可能となる。一般に、変倍光学系を構成するためには、少なくとも2つの群間隔を変化させることにより行う。本発明により折り曲げ光路を持つカメラ光学系を変倍光学系に採用すると、光学系が小型の折り返し光路を採用した変倍ファインダー光学系を構成することが可能となる。群間隔を変化させることにより、焦点位置を調整することもできる。さらに好ましくは、その群間隔は光軸方向に光学系を移動させることにより群間隔を変化する群間隔変化手段により構成する。

【0080】また、ファインダー光学系の対物レンズ系を、本発明によるカメラ光学系と、全体の屈折力がゼロより大きい正レンズ群と、全体の屈折力がゼロより小さい負レンズ群とからなる3群にて構成することができ

【0081】その場合、本発明によるカメラ光学系と正レンズ群と負レンズ群との夫々の群間隔を変化させることによって変倍をすることができる。この少なくとも合計3つのレンズ群の群間隔を変化させて変倍することにより、オプティカルコンベンションの変倍ファインダー光学系を構成することが可能となり、移動するレンズ群が少なくてすんだり、レンズ群の移動の仕方が単純になる。

【0082】また、物体像を形成する対物レンズ系と、物体像を観察する接眼光学系とを有する実像式ファインダー光学系が、撮影情報等を表示するために物体像とは別の表示像を形成するファインダー内表示光学系を備え、そのファインダー内表示光学系には本発明のカメラ光学系が配置されている構成とすることができる。本発明のカメラ光学系をファインダー内表示光学系に使用することにより、小型のファインダー内表示光学系を構成することができる。

【0083】また、物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段と、物体距離に伴って変化する物体像の形成位置と撮像手段との位置ずれを測定する測距部とを有し、その測距部の光学手段として本発明のカメラ光学系が配置されている構成とすることがで

きる。本発明のカメラ光学系をAF光学系に使用することにより、小型のAF光学系を構成することができる。

【0084】また、物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段と、物体の明るさに伴って変化する撮像手段への露光量の最適値を測定する測光部とを有し、その測光部の光学手段として本発明のカメラ光学系が配置されている構成とすることができる。本発明のカメラ光学系をAE光学系に使用することにより、小型のAE光学系を構成することができる。

【0085】また、物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段と、撮影日時等の情報を表示するデータ表示部と、データ表示部により表示された情報像を撮像手段に結像させる情報像形成光学系とを有し、その情報像形成光学系として本発明のカメラ光学系が配置されている構成とすることができる。本発明のカメラ光学系をデータ情報像形成光学系に使用することにより、小型のデータ情報像形成光学系を構成することができる。

【0086】また、物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段として設けられた銀塩フィルムとを有し、対物レンズ系として本発明のカメラ光学系が配置されている構成とすることができる。本発明のカメラ光学系を対物レンズ系として使用することにより、小型の銀塩フィルム用撮像光学系を構成することができる。

【0087】また、物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段として設けられた電子撮像装置とを有し、対物レンズ系として本発明のカメラ光学系が配置されている構成とすることができる。本発明のカメラ光学系を対物レンズ系として使用することにより、小型の電子カメラ用光学系を構成することができる。

【0088】上記のカメラ光学系を対物レンズ系として使用する場合に、対物レンズ系が、本発明のカメラ光学系と、振動によって生じる手ぶれ等の像ぶれを防止する機能を有する防振光学系とを有するものとすることができる。防振光学系に本発明のカメラ光学系を組み合わせると、防振作用を働かせたときの収差の悪化を少なくすることができる。本発明による光学系が裏面鏡で構成されている場合に特に効果がある。これは、透過レンズ系に対して、反射裏面鏡の方が面の曲率が原理的に小さくてすむためである。つまり、防振作用は光学系が傾いたときにも、元の像位置に光線が到達するように、光線の屈曲作用を持った頂角可変プリズム等で光線を屈曲させて防振作用を得ている。しかし、このことは光学系に対しては、より多くの入射光線の角度に対して収差を良好に補正する必要が生じてくる。これを従来の透過屈折レンズ系で構成すると、光学系の各面を構成する面の曲率が大きいために、光線がずれた場合の収差の悪化が急激な変化をする。これに対して、反射面を裏面鏡で構成し

た光学系の場合は、面の曲率が小さいので、光線が多少ずれても収差の変化が少なくてすむためである。

【0089】この場合、防振光学系は楔形状のプリズムから構成することができる。また、対物レンズ系中に配置されたカメラ光学系が屈折力が変化するように構成されていてもよい。

【0090】この場合、そのカメラ光学系は、光軸に垂直な第1の方向に屈折力が変化する回転非対称な曲面を備えた第1偏心光学系と、光軸と第1の方向の両方に垂直な第2の方向に屈折力が変化する回転非対称な曲面を備えた第2偏心光学系とを有し、第1偏心光学系を第1の方向に沿って移動させ、及び／又は、第2偏心光学系を前記第2の方向に沿って移動させることにより、そのカメラ光学系の屈折力が変化するように構成することができる。すなわち、回転非対称面により構成されたシリンドリカル状の少なくとも2つの光学素子を光軸に対して略垂直となるX-Y面に配置し、かつ、それぞれをX軸方向とY軸方向に略直線的に移動させる。そのシリンドリカル状の光学素子は、その両端で移動方向と直行する方向の曲率が異なっており、それぞれX軸方向に移動する光学素子はX軸方向に移動させることによりY軸方向のパワーが変化する、Y軸方向に移動する光学素子はY軸方向に移動させることによりX軸方向のパワーが変化する。この少なくとも2つの光学素子を同時に移動させることにより、X軸方向とY軸方向のパワーが変化する、屈折力可変光学系を構成することができる。この場合、光学系の形状又は光学系の内部構造が変化する液晶レンズ等ではないので、温度や重力等の影響を受けない安定した屈折力可変効果が得られる。

【0091】また、本発明の光学系は、コンバータレンズとして構成することができる。本発明の光学系をコンバータレンズとして使用することにより、小型のコンバータレンズを構成することができる。

【0092】また、本発明の光学系を双眼鏡内部の光学手段に配置することができる。双眼鏡の光学系に本発明の光学系を使用することにより、小型の双眼鏡を構成することができる。

【0093】この場合、本発明の光学系を双眼鏡内部の対物レンズ系に配置することができる。双眼鏡用の対物レンズ系に回転非対称面を用いると、像歪みはもちろんのこと、色収差にも良い結果を得ることが可能となる。さらに好ましくは、回転非対称面を裏面鏡として用いることにより、収差の発生を少なくすることが可能となる。

【0094】また、本発明の光学系を双眼鏡内部の接眼レンズ系に配置することができる。双眼鏡の光学系を折り曲げ光路で構成し、なおかつ、反射面がパワーを持つ光学素子で双眼鏡アフォーカル光学系を構成すると、光学系を小型に構成することが可能となる。特に、接眼光学系を回転非対称な反射面で構成し、さらに好ましく

は、プリズム光学系の裏面反射面を回転非対称面で構成すると、像歪みの補正された双眼鏡用接眼光学系を構成することができる。

【0095】また、本発明の光学系を双眼鏡内部の対物レンズ系と接眼レンズ系の夫々に配置することができる。双眼鏡用光学系の対物レンズ系と接眼レンズ系を回転非対称面で構成することにより、小型でかつ収差の少ないファインダー光学系を提供することが可能となる。さらに好ましくは、前記回転非対称面を裏面鏡として使用し、倒立プリズムの反射面を裏面鏡として構成することにより、部品点数の少ない双眼鏡光学系を提供することが可能となる。

【0096】また、本発明の光学系をイメージローテーターの入射面、及び／又は、射出面に配置することができる。従来のイメージローテーターは、特に屈折力を持つことがなく、イメージローテーターとは別に結像レンズ等の屈折力を持つ光学系と共に使用されていた。しかし、本発明の回転非対称面で光学系を構成することにより、イメージローテーター自体に屈折力を持たせることが可能となり、結像レンズ等の構成を簡略化したり、結像レンズ自体を省略することが可能となる。

【0097】また、本発明の光学系を顕微鏡内部の光学手段に配置することができる。本発明の光学系を顕微鏡内部の光学手段に使用することにより、小型でかつ収差の少ない顕微鏡を提供することが可能となる。

【0098】この場合、本発明の光学系を顕微鏡用対物光学系に配置することができる。顕微鏡用対物光学系を本発明の光学系により構成することにより、特に色収差の少ない顕微鏡対物レンズを構成することが可能となる。本発明の光学系における反射面は原理的に色収差の発生がないために、色収差の発生がない反射面に強い屈折力を持たせられる本発明の光学系で顕微鏡対物レンズを構成することが好ましい。

【0099】この場合、本発明の光学系を顕微鏡用接眼光学系に配置することができる。本発明の光学系により顕微鏡接眼レンズを構成することにより、小型でかつ収差の少ない顕微鏡接眼レンズを提供することが可能となる。特に、折り返し光路をとることにより、光学系を小さくし、かつ、アイポイントの高い接眼レンズを構成することが可能となる。さらに好ましくは、回転非対称面を裏面鏡として使用することによりプリズム光学系として接眼レンズを構成すると、部品点数の少ない接眼光学系を提供することが可能となる。

【0100】また、本発明の光学系を顕微鏡用中間像リレー光学系に配置することができる。本発明の光学系により顕微鏡用中間像リレー光学系を構成すると、小型でかつ収差の少ない顕微鏡用中間像リレー光学系を構成することが可能となる。また、反射面にパワーを持たせることにより、光路折り曲げミラー又はプリズムを省略することも可能となる。

【0101】また、本発明の光学系を顕微鏡用照明系に配置することができる。本発明の光学系により顕微鏡用照明光学系を構成すると、小型でかつ照明むらの少ない顕微鏡用照明光学系を構成することが可能となる。また、反射面にパワーを持たせることにより、光路折り曲げミラー又はプリズムを省略することも可能となる。

【0102】その場合、顕微鏡用落射照明系あるいは顕微鏡用透過照明系に配置することができる。

【0103】また、本発明の光学系を顕微鏡用マルチディスクカッション鏡筒に配置することができる。本発明の光学系により顕微鏡用マルチディスクカッション鏡筒を構成すると、部品点数の少ない顕微鏡用マルチディスクカッション鏡筒光学系を構成することが可能となる。また、反射面にパワーを持たせることにより、光路折り曲げミラー又はプリズムを省略することも可能となる。

【0104】また、本発明の光学系を顕微鏡用描画装置光学系に配置することができる。本発明の光学系により描画装置を構成すると、部品点数の少ない顕微鏡用描画装置用光学系を構成することが可能となる。また、反射面にパワーを持たせることにより、光路折り曲げミラー又はプリズムを省略することも可能となる。

【0105】また、本発明の光学系を顕微鏡用オートフォーカスシステムに配置することができる。本発明の光学系により顕微鏡用AF光学系を構成すると、部品点数の少ない顕微鏡用AF光学系を構成することが可能となる。また、反射面にパワーを持たせることにより、光路折り曲げミラー又はプリズムを省略することも可能となる。

【0106】また、本発明の光学系を倒立型顕微鏡用投影光学系に配置することができる。本発明の光学系により倒立顕微鏡用投影光学系を構成すると、部品点数の少ない倒立顕微鏡用投影光学系を構成することが可能となる。また、反射面にパワーを持たせることにより、光路折り曲げミラー又はプリズムを省略することも可能となる。

【0107】また、本発明の光学系を右眼用光軸と左眼用光軸と有した双眼実体顕微鏡内部の光学手段に配置することができる。本発明の光学系を右眼用光軸と左眼用光軸と有した双眼実体顕微鏡内部の光学手段に使用することにより、小型でかつ収差の少ない双眼実体顕微鏡を提供することが可能となる。このように、本発明の光学系を用いて手術用顕微鏡等の双眼実体顕微鏡を構成すると、回転非対称な収差を補正することが可能となり、フラットで明瞭な観察像を観察することが可能となる。

【0108】その場合に、右眼用光軸と左眼用光軸とにかかる対物レンズ系を有し、対物レンズ系により発生する偏心収差を補正するために、右眼用光軸と左眼用光軸の夫々に本発明の光学系を設けることができる。本発明の光学系を右眼用光軸と左眼用光軸の夫々に用いて手術用顕微鏡等の双眼実体顕微鏡を構成すると、回転非対称

な収差を補正することが可能となり、フラットで明瞭な観察像を観察することが可能となる。

【0109】また、本発明の光学系を双眼実体顕微鏡内部の変倍光学系内に設けることができる。本発明の光学系を変倍光学系に配置すると、特に回転非対称な収差の発生しやすい低倍の観察時に補正効果を出すことが可能となる。さらに好ましくは、変倍光学系の物体側の光学素子に本発明の光学系を配置することにより、低倍観察時の像面湾曲や像歪み等の収差補正に好ましい結果を得ることができる。

【0110】また、本発明の光学系を双眼実体顕微鏡内部の結像光学系内に設けることができる。本発明の光学系を結像光学系に用いることにより、結像光学系のみを取り替えにより、通常観察と回転非対称な収差を補正した観察を簡単に切り替えることが可能となる。

【0111】また、本発明の光学系を双眼実体顕微鏡内部の接眼光学系内に設けることができる。本発明の光学系を接眼光学系に用いることにより、回転非対称な収差の補正能力が向上し、さらに好ましい。これは、接眼光学系は軸外主光線が比較的光軸より高いところを通過するために、軸外の回転非対称な収差の補正能力が大きいためである。

【0112】また、左右の光軸がそれぞれ物体面に対して傾斜して配置され、右眼光軸に設けられた対物レンズ系と左眼光軸に設けられた対物レンズ系とにより発生する収差を補正するために、右眼光軸と左眼光軸の夫々に本発明の光学系を設けることができる。物体面に対して傾いて配置された光軸上の対物レンズ系で発生する回転非対称な収差を補正する本発明の光学系で双眼実体顕微鏡を構成すると、回転非対称な収差を補正することが可能となり、フラットで明瞭な観察像を観察することが可能となる。

【0113】その場合、左右に設けられた本発明の光学系が左右の光軸上で最も物体側に配置することができる。最も物体側に本発明の光学系を配置すると、変倍光学系により変倍した場合の収差変化が観察物体高と共に変化するため、ズーミング時の収差変動が少なくなる。

【0114】また、その場合、左右に設けられた本発明の光学系が左右の対物レンズ系よりも像側に配置することができる。本発明の光学系を対物レンズ系の像側に配置すると、対物レンズ系の取り替え時にいちいち外さなくてよいので、対物レンズ系の取り替えが容易である。

【0115】また、本発明の光学系を内視鏡内部の光学手段に配置することができる。本発明の光学系で内視鏡用光学系を構成すると、光路を折り返して光学系を構成するために、小型の光学系を構成することが可能となる。

さらに、その光学系と結像位置の間に正の屈折力を持つ光学系を配置することにより、瞳位置を本発明の光学系の中に配置して、かつ、射出瞳を速くに配置することが可能となり、像側テレセントリック性を保ちつつづ

リズム光学系を小型にすることが可能となる。この正の屈折力を持つ光学素子がないと、テレセントリック性が悪くなり撮像素子に例えばCCDを使用した場合には、集光効率が落ちる。また、イメージガイドを利用した場合は、開口数の大きなオプティカルファイバーを使用しないと、集光効率が落ち、明るい像を観察することができなくなる。

【0116】さらに好ましくは、上記の正の光学系を正のパワーを持つレンズで構成する場合には、正レンズで発生する像歪み、倍率の色収差が大きく発生するため、正レンズで発生する収差と本発明によるプリズム光学系で発生する収差をお互いに打ち消し合うようにすることが、収差補正上良い結果を得る。また、その正レンズは、物体側の曲率半径より結像面側の曲率半径が小さいことが正レンズで発生する像歪みを少なくする上で好ましい。また、逆に、その正レンズは、物体側に曲率を持たせ、結像面側を平面で構成し、撮像素子と一体にすることにより、製作性を向上することができる。さらに、その正レンズは回転対称面で構成することによって、レンズの製作性が向上する。また、当然正レンズを回転非対称面で構成することも可能であり、この場合は、像歪みをより良好に補正することが可能となる。また、その正レンズを回折光学素子又はフレネルレンズで製作することによって、薄いレンズとすることが可能となり、小型の光学系を構成したい場合に効果的である。

【0117】この場合、内視鏡が撮像素子を使用した内視鏡とすることができる。本発明の光学系と2次元撮像素子により内視鏡用光学系を構成すると、小型の内視鏡を構成することが可能となる。これは、2次元撮像素子は、薄くてかつ撮像面積の広い電気基板等があるために、物体からの光軸に対して傾けて配置した方が装置を小型にできるからである。

【0118】また、本発明の光学系を内視鏡対物光学系に使用することができる。こうすることにより、内視鏡先端部分の対物光学系の径を細くすると同時に長さを短くすることが可能となり、特に内視鏡先端部が太くなってしまう問題点を解決することができる。

【0119】また、本発明の光学系の物体側に保護透明板を配置することができる。こうすることにより、内視鏡先端部分に着くこみや水滴を取り除きやすくなることが可能となる。さらに好ましくは、その保護透明板は透明な平行平板でもよい。

【0120】また、本発明の光学系の物体側の面を平面とすることができる。こうすることにより、内視鏡先端部分に着くこみや水滴を取り除きやすくなることが可能となる。

【0121】また、本発明の光学系の像側の面を平面とすることができる。こうすることにより、2次元撮像素子と本発明の光学系の位置決めを正確に行うことが可能となる。

【0122】また、本発明の光学系の像側の面と撮像素子を密着することができる。こうすることにより、光学部品の組み立て性を向上することが可能となる。

【0123】また、光学系の結像面にオプティカルファイバーバンドルを光学系と別体に配置することができる。このように配置することにより、ファイバーの交換が容易に行うことが可能となる。

【0124】また、本発明の光学系の像側の面とオプティカルファイバーバンドルを密着することができる。このように配置することにより、小型の内視鏡対物光学系を構成することが可能となる。

【0125】また、光学系の物体側の面を保護用透明板とすることができる。このようにすることにより、内視鏡先端部分に着くごみや水滴を取り除きやすくすることが可能となる。さらに好ましくは、その保護用透明板は透明な平行平面板でもよい。

【0126】また、本発明の光学系の物体側の面を平面とすることができる。このようにすることにより、内視鏡先端部分に着くごみや水滴を取り除きやすくすることが可能となる。

【0127】また、内視鏡の先端部分の第1面をガラス又はサファイア等の結晶材料で構成することができる。このようにすることにより、先端の光学系に傷がつき難くなる。

【0128】また、内視鏡対物光学系の第1面は内視鏡外装部より引っ込んでいる配置とすることができる。このようにすることにより、光学系先端部分が被観察物に接触して傷つくことがなくなる。

【0129】また、内視鏡対物光学系の第1面は内視鏡外装部より出っ張っている配置とすることができる。このようにすることにより、先端部分に付着する水滴を簡単除去することが可能となる。

【0130】また、本発明の光学系が内視鏡用カメラアダプター内部に配置され、その光学系を介して観察像を撮像素子に投影するものとする。回転非対称な面を用いると、光学系を小型にすることが可能となる。なお、撮像素子としては、CCDとかフィルム等がある。

【0131】この場合、本発明の光学系の前又は後に平面ガラスが設けられている配置とすることができる。このような配置により、内視鏡用カメラアダプター光学系を取り外したり取り付けたりする場合に、ごみ等が光学系の中に入るのを防ぐことができる。

【0132】また、本発明の光学系と他の光学系又は結像面との間隔を可変にする手段を有するようにすることができる。このような配置により、フォーカシングを行うことができる。

【0133】また、本発明の光学系と他の光学系での反射回数の総和が偶数回であるようにすることができる。このような配置により、真像で結像することがなく、観

察者に観察時の違和感を与えないで好ましい。

【0134】また、内視鏡用カメラアダプターが反射回数の総和が奇数回である光学系と電気的像反転回路とから構成することができる。光学系の反射回数が奇数回の場合、電気的処理により像を反転させることがより、観察者に観察時の違和感を与えないで好ましい。

【0135】また、内視鏡用カメラアダプターが半透過反射面により光路が2つに分割されるものとする。半透過反射面により光路を2分割することにより、観察光路とカメラ光路を持つことが可能となり、観察しながら撮影が同時にできてより望ましい。

【0136】また、観察者の観察光路は、観察光学系から前記内視鏡用カメラアダプターに入射する光軸と略平行であるものとする。観察光路は、観察光学系から内視鏡用カメラアダプターに入射する光軸と略平行になっていることが、観察方向と内視鏡等の観察機器の操作方向が一致して、観察者に違和感を与えずに好ましい。

【0137】

20 【発明の実施の形態】以下に、本発明の光学系及びそれを用いた各種光学装置の光学系の実施例について説明する。

【0138】まず、実施例1～5、実施例7～13に限定ではないが本発明による構成パラメータを伴う代表的な光学系の実施例について説明する。なお、実施例6は反射作用を持つ面についての実施例である。

【0139】後記する実施例1～5の構成パラメータにおける座標の取り方は、図1に示すように、瞳（開口）1の中心を光学系の原点として、光軸2を物体中心（図では省略）を出て開口1の中心を通る光線で定義し、光学系10の第1面まで光軸2に沿って進む方向をZ軸方向、このZ軸に直交し原点を通り光軸2が光学系10によって折り曲げられる面内の方向をY軸方向、Z軸、Y軸に直交し原点を通る方向をX軸方向とし、物点から光学系第1面に向かう方向をZ軸の正方向とする。X軸、Y軸、Z軸は右手直交座標を構成する。そして、その座標系でZ軸方向に沿って面間隔が定義され、その面間隔によって与えられた位置が次の面の位置を定める新たな座標系の原点になり、その新たな原点からその面の面頂位置までのY方向のずれ量が偏心量Yとして与えられ、その面を定義する式の中心軸のZ軸方向からの回転量が傾き量θとして与えられる。同様に、さらに次の面は、その前の面を定める座標系に対して同様に定められる。すなわち、各面の偏心の後に新しく定義した座標系に沿って、次の面との面間隔が定義されている。なお、傾き角は反時計回りの方向を正としている。

【0140】また、後記する実施例7～13の構成パラメータにおける座標の取り方は、図7に示すように、光学系10の第1面（瞳（開口）1を含む。）を光学系の原点として、光軸2を物体中心（図では省略）を出て開

□1の中心を通る光線で定義し、光学系10の第1面まで光軸2に沿って進む方向をZ軸方向、このZ軸に直交し原点を通り光軸2が光学系10によって折り曲げられる面内の方向をY軸方向、Z軸、Y軸に直交し原点を通る方向をX軸方向とし、物点から光学系第1面に向かう方向をZ軸の正方向とする。X軸、Y軸、Z軸は右手直交座標を構成する。そして、偏心量Y、Z、傾き量θが記載されている面については、その面の面頂位置の光学系10の原点である光学系の第1面（瞳（開口）1を含む。）からのずれ量、及び、その面を定義する式の中心軸のZ軸方向からの回転量を表している。なお、傾き角は反時計回りの方向を正としている。また、面間隔が記載されている面については、その面と次の面の軸上間隔を表している。

*

$$Z = \left[(X^2/R_x) + (Y^2/R_y) \right] / \left[1 + \left\{ 1 - (1+K_x)(X^2/R_x)^2 - (1+K_y)(Y^2/R_y)^2 \right\}^{1/2} \right] \\ + AR \left[(1-AP)X^2 + (1+AP)Y^2 \right]^2 \\ + BR \left[(1-BP)X^2 + (1+BP)Y^2 \right]^2 \\ + CR \left[(1-CP)X^2 + (1+CP)Y^2 \right]^4 \\ + DR \left[(1-DP)X^2 + (1+DP)Y^2 \right]^6 \\ \dots (b)$$

なお、後記する構成パラメータ中において、記載のない非球面に関する係数はゼロである。また、面と面の間の媒質の屈折率はd線（波長587.56nm）の屈折率で表す。長さの単位はmmである。

*

$$x = R \cos(A) \\ y = R \sin(A) \\ Z = D_0 \\ + D_1 R \cos(A) + D_2 R \sin(A) \\ + D_3 R^2 \cos(2A) + D_4 (R^2 - 1) + D_5 R^2 \sin(2A) \\ + D_6 R^3 \cos(3A) + D_7 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\ + D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\ + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\ + D_{16} R^4 \sin(4A) \\ + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\ + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\ + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\ + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\ + D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\ + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\ + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\ + D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\ + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots \dots (c)$$

ただし、D_m（mは2以上の整数）は係数である。

【0145】本発明において使用可能なその他の面の例として、次の定義式があげられる。

$$Z = C_0 \\ + C_1 y + C_2 |x|$$

*【0141】また、各面において、自由曲面は前記(a)式で表現される多項式面である。なお、定義式(a)のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0142】また、各面において、非回転対称な非球面形状は、その面を規定する座標上で、R_y、R_xはそれぞれY-Z面（紙面）内の近軸曲率半径、X-Z面内の近軸曲率半径、K_x、K_yはそれぞれX-Z面、Y-Z面内の円錐係数、AR、BR、CR、DRはそれぞれZ軸に対して回転対称な4次、6次、8次、10次の非球面係数、AP、BP、CP、DPはそれぞれZ軸に対して回転非対称な4次、6次、8次、10次の非球面係数とすると、非球面式は以下に示す通りである。

【0143】

*【0144】また、自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式により定義できる。この面の形状は以下の式(c)により定義する。その定義式(c)のZ軸がZernike多項式の軸となる。

$$\star Z = \sum \sum C_{kn} X^k Y^n$$

例として、k=7（7次項）を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

$$\begin{aligned}
& +C_8 y' + C_9 y |x| + C_{10} x^2 \\
& + C_8 y' + C_9 y^2 |x| + C_{10} y x^2 + C_{11} |x^3| \\
& + C_{12} y' + C_{13} y^2 |x| + C_{14} y^2 x^2 + C_{15} y |x^3| + C_{16} x^5 \\
& + C_{17} y' + C_{18} y' |x| + C_{19} y^3 x^2 + C_{20} y^2 |x^3| \\
& \quad + C_{21} y x^4 + C_{22} |x^5| \\
& + C_{23} y^6 + C_{24} y^5 |x| + C_{25} y^4 x^2 + C_{26} y^3 |x^3| \\
& \quad + C_{27} y^2 x^4 + C_{28} y |x^5| + C_{29} x^6 \\
& + C_{30} y' + C_{31} y^6 |x| + C_{32} y^5 x^2 + C_{33} y^4 |x^3| \\
& \quad + C_{34} y^3 x^4 + C_{35} y^2 |x^5| + C_{36} y x^6 + C_{37} |x^7| \\
& \quad \dots (d)
\end{aligned}$$

実施例1

この実施例1の光軸2を含むY-Z断面図を図1に示す。この実施例は、偏心したトーリック面からなる第1面3と偏心した球面の第2面4からなる屈折型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。なお、符号5は像面である。以下、同じ。

【0146】実施例2

この実施例2の光軸2を含むY-Z断面図を図2に示す。この実施例は、アナモルフィック面の第1面3と偏心した球面からなる第2面4からなる屈折型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0147】実施例3

この実施例3の光軸2を含むY-Z断面図を図3に示す。この実施例は、自由曲面の第1面3と偏心した球面からなる第2面4からなる屈折型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0148】実施例4

この実施例4の光軸2を含むY-Z断面図を図4に示す。この実施例は、偏心した自由曲面の第1面3と偏心した球面からなる第2面4からなる屈折型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0149】実施例5

この実施例5の光軸2を含むY-Z断面図を図4に示す。この実施例は、偏心した自由曲面からなる反射面の第1面3からなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0150】実施例6

本実施例は、本発明による回転非対称面形状の面を反射面として用いる場合、特に裏面鏡として用いる場合の、反射作用を持つ面の構成に関する実施例であり、図6に

示すように、ガラス、プラスチック等の透明体11表面にアルミコート層12を設けたもの(図の(a))、透明体11表面に銀コート層13を設けたもの(図の(b))、透明体11表面にアルミコート層12を部分的に設けて半透過鏡としたもの(図の(c))があるが、その外に、光学多層膜を設けて100%反射するようにしたものあるいは半透過鏡としたもの等がある。

【0151】実施例7

この実施例7の光軸2を含むY-Z断面図を図7に示す。この実施例は、偏心した自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と第1面3と共通の透過面の第3面6とからなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0152】実施例8

この実施例8の光軸2を含むY-Z断面図を図8に示す。この実施例は、偏心した自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と偏心した自由曲面からなる透過面の第3面6とからなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0153】実施例9

この実施例9の光軸2を含むY-Z断面図を図9に示す。この実施例は、偏心した自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と偏心した自由曲面からなる反射面の第3面6と偏心した自由曲面からなる透過面の第4面7とからなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角24°、垂直画角16.7°、入射瞳径は2mmである。

【0154】実施例10

この実施例10の光軸2を含むY-Z断面図を図10に示す。この実施例は、自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と偏心した自由曲面からなる反射面の第3面6と偏心した自由曲面からなる透過面の第4面7とからなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角40°、垂直画角30°、入

射瞳径は2mmである。

【0155】実施例11

この実施例11の光軸2を含むY-Z断面図を図11に示す。この実施例は、偏心した自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と第1面3と共通の反射面の第3面6と偏心した自由曲面からなる透過面の第4面7とからなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角40°、垂直画角30°、入射瞳径は10mmである。

【0156】実施例12

この実施例12の光軸2を含むY-Z断面図を図12に示す。この実施例は、偏心した自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と偏心した自由曲面からなる反射面の第3面6と第2面4と共通の透過面の第4面7とからなる反射型偏心光*

*学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角40°、垂直画角30°、入射瞳径は10mmである。

【0157】実施例13

この実施例13の光軸2を含むY-Z断面図を図13に示す。この実施例は、自由曲面からなる透過面の第1面3と偏心した自由曲面からなる反射面の第2面4と平面反射面の第3面6と第1面3と共通の反射面の第4面7と第2面4と共通の透過面の第5面8とからなる反射型偏心光学系10であり、構成パラメータは後記する。この実施例の撮像画角は、水平画角40°、垂直画角30°、入射瞳径は10mmである。

【0158】以下に、上記実施例1～5、7～13の構成パラメータを示す。

実施例1

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	5.000		
2	R _v 88.44333 R _s 95.45737	3.000	1.51633	64.15
3	-17.301	38.032	Y 0.000 θ	-1.99°
4	∞ (像面)		Y 0.069 θ	-1.77°
			Y 3.119 θ	10.00°
CXn	0.01048			
CYn	0.01130			
FXn	184.8040			
FYn	184.8766			
FX	28.3607			
FY	27.8784			
FXn/FX	6.51620			
FYn/FY	6.63154			
FY/FX	0.98299			

【0159】実施例2

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッペ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	2.273		
2	R _v 96.003 R _s 95.457 K _v 0 K _s 0 A R -8.9601×10^{-5} A P -4.4886×10^{-1}	3.000	1.5163 Y 0.000 θ	64.15 0.00°
3	-17.143	37.747	Y 0.094 θ	-2.42°
4	∞ (像面)		Y 4.240 θ	10.00°
CXn	0.01048			
CYn	0.01042			
FXn	184.8767			
FYn	185.9339			
FX	28.4495			
FY	28.1215			

FXn/FX 6.49842
FYn/FY 6.61181
FY/FX 1.01745

【0160】実施例3

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)	
1	∞ (瞳)	5.000			
2	自由曲面①	3.000	1.5163	64.15	
			Y 0.000 θ	0.00°	
3	-11.903	37.119	Y 0.000 θ	-1.42°	
4	∞ (像面)		Y 1.436 θ	10.00°	
自由曲面①					
C ₁	-1.6641×10^{-1}	C ₂	-1.6675×10^{-1}	C ₁₀	3.5664×10^{-4}
C _{Xn}	-0.03335				
C _{Yn}	-0.03328				
FXn	-58.0733				
FYn	-58.1955				
FX	35.5619				
FY	35.2237				
FXn/FX	-1.63302				
FYn/FY	-1.65217				
FY/FX	0.99049				

【0161】実施例4

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心率)	アッベ数 (傾き角)	
1	∞ (瞳)	5.000			
2	自由曲面①	3.000	1.5163	64.15	
			Y 0.000 θ	-2.57°	
3	-15.349	36.155	Y 0.089 θ	-2.06°	
4	∞ (像面)		Y 3.615 θ	10.00°	
自由曲面①					
C _s	-6.2923×10^{-3}	C _t	-6.1230×10^{-3}	C ₁₀	1.0315×10^{-4}
C _{Xn}	-0.01225				
C _{Yn}	-0.01258				
FXn	-158.10170				
FYn	-153.95436				
FX	35.67606				
FY	35.81662				
FXn/FX	-4.43159				
FYn/FY	-4.29841				
FY/FX	1.00394				

【0162】実施例5

面番号	曲率半径	間隔		屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	23.667			
2	自由曲面①	-33.473	Y	0.000 θ	-20.00°
3	∞ (像面)		Y	12.183 θ	-29.79°
自由曲面①					
C ₁	-6.6312×10 ⁻¹	C ₇	-7.3816×10 ⁻¹	C ₉	1.3051×10 ⁻⁴
C ₁₀	3.5104×10 ⁻⁴	C ₁₁	-1.7318×10 ⁻⁵	C ₁₂	1.4418×10 ⁻⁵

(18)

特開平10-161018

33		34
C_{1s} 1.0842×10^{-6}	C_{1r} -2.2182×10^{-6}	C_{1s} -1.3828×10^{-6}
C_{1r} -6.8971×10^{-6}		
OXn -0.01476		
CYn -0.01326		
FXn -33.87534		
FYn -37.70739		
FX 35.52397		
FY 35.37319		
FXn/FX -0.95359		
FYn/FY -1.06599		
FY/FX 0.99576		

【0163】実施例7

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心率)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	自由曲面①		1.5163	64.15
		Y	0.000	θ -17.45°
		Z	17.611	
3	自由曲面②		1.5163	64.15
		Y	-0.529	θ -20.00°
		Z	22.611	
4	自由曲面①		Y 0.000	θ -17.45°
		Z	17.611	
5	∞ (像面)		Y 24.425	θ -47.96°
		Z	-7.952	
		自由曲面①		
C_s 1.8423×10^{-2}	C_r 3.2520×10^{-2}			
	自由曲面②			
C_s 2.3788×10^{-3}	C_r 7.6150×10^{-3}			
自由曲面②				
OXn 0.01523				
CYn 0.00476				
FXn 21.65092				
FYn 69.27385				
FX 28.80566				
FY 28.36382				
FXn/FX 0.75162				
FYn/FY 2.44233				
FY/FX 0.98466				

【0164】実施例8

面番号	曲率半径	40 間隔	屈折率 (偏心率)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	自由曲面①		1.5163	64.15
		Y	0.000	θ -11.28°
		Z	1.758	
3	自由曲面②		1.5163	64.15
		Y	-1.816	θ -20.00°
		Z	28.620	
4	自由曲面③		Y 17.796	θ -28.72°

(19)

特開平10-161018

35

36

5 ∞ (像面)

Z 1.758
Y 41.948 θ -49.40°
Z -27.025

自由曲面①

C_1 -2.9815×10^{-2} C_7 5.8788×10^{-3} C_{10} -1.9434×10^{-4}

自由曲面②

C_3 -5.6421×10^{-3} C_9 3.0794×10^{-3} C_{10} -6.3954×10^{-5}

自由曲面③

C_5 2.7620×10^{-3} C_7 3.3894×10^{-2} C_{10} 2.5637×10^{-5}

自由曲面④

CXn 0.00616

CYn -0.01128

FXn 53.52979

FYn -29.23258

FX 33.52330

FY 34.95281

FXn/FX 1.59679

FYn/FY -0.83634

FY/FX 1.04264

【0165】実施例9

20

面番号 曲率半径 間隔 屈折率 (偏心率) アッペ数 (傾き角)

1 ∞ (瞳)

2 自由曲面①

1.5163 64.15

Y 0.000 θ 0.00°

Z 10.000

3 自由曲面②

1.5163 64.15

Y 0.000 θ -45.00°

Z 20.000

4 自由曲面③

1.5163 64.15

Y 10.000 θ 45.00°

Z 20.000

5 自由曲面④

Y 10.000 θ 0.00°

Z 10.000

6 ∞ (像面)Y 10.000 θ -13.68°

Z -10.000

自由曲面①

C_1 -2.5583×10^{-3} C_7 -1.1629×10^{-3} C_9 3.6340×10^{-4}

C_{10} 0 C_{12} 3.2535×10^{-5} C_{14} 3.1012×10^{-5}

C_{16} 8.2196×10^{-5}

自由曲面②

C_3 -2.5807×10^{-3} C_7 -5.9100×10^{-3} C_9 -7.4253×10^{-6}

C_{10} 3.3196×10^{-5} C_{12} 3.2466×10^{-7} C_{14} -3.5149×10^{-7}

C_{16} 1.9988×10^{-5}

自由曲面③

C_5 -2.9513×10^{-3} C_7 -4.5073×10^{-3} C_9 -1.0598×10^{-4}

C_{10} -1.0663×10^{-5} C_{12} -2.8568×10^{-6} C_{14} 7.7238×10^{-7}

C_{16} -9.1435×10^{-6}

自由曲面④

C_1 -1.9093×10^{-2} C_7 -1.9783×10^{-2} C_9 -7.3494×10^{-4}

(20)

特開平10-161018

37				38
C_{10} 0	C_{12} -9.6786×10^{-5}	C_{14} -5.5417×10^{-5}		
C_{16} -4.5951×10^{-6}				
自由曲面 ①	②	③	④	
C_{Xn} -0.00233	-0.01182	-0.00901	-0.03957	
C_{Yn} -0.00512	-0.00516	-0.00590	-0.03819	
C_{Xn} -831.2214	27.8970	36.5975	-48.9448	
C_{Yn} -378.2706	63.9037	55.8887	-50.7134	
C_X 33.59086				
C_Y 31.39717				
C_{Xn}/C_X -24.7455	0.8305	1.0895	-1.4571	
C_{Yn}/C_Y -12.0479	2.0353	1.7801	-1.6152	
C_Y/C_X 0.9347				

【0166】実施例10

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心率)	アッペ数 (傾き角)
1	自由曲面①		1.5163	64.15
2	自由曲面②		1.5163	64.15
		Y	0.000 θ	-22.50°
		Z	26.000	
3	自由曲面③		1.5163	64.15
		Y	14.000 θ	-67.50°
		Z	12.000	
4	自由曲面④	2.000	Y -10.000 θ	90.00°
		Z	10.000	
5	∞ (像面)			

	自由曲面①			
C_1 1.3733×10^{-2}	C_7 1.8225×10^{-2}	C_9 -9.4288×10^{-3}		
C_{16} -1.3336×10^{-4}				
	自由曲面②			
C_3 -7.9366×10^{-4}	C_5 -1.1721×10^{-3}	C_8 -2.5491×10^{-3}		
C_{10} -5.6154×10^{-5}				
	自由曲面③			
C_5 2.8039×10^{-3}	C_7 -8.7180×10^{-4}	C_9 -7.6318×10^{-3}		
C_{10} -1.4966×10^{-4}				
	自由曲面④			
C_1 8.4385×10^{-3}	C_7 -6.4925×10^{-3}	C_9 -2.7582×10^{-4}		
C_{10} 3.1268×10^{-4}				
自由曲面 ①	②	③	④	
C_{Xn} 0.03645	-0.00234	-0.00174	-0.01299	
C_{Yn} 0.02747	-0.00159	0.00561	0.01688	
C_{Xn} 53.13432	140.9160	-189.5078	-149.0951	
C_{Yn} 70.50404	207.3859	58.7778	114.7361	
C_X 49.19207				
C_Y 34.94060				
C_{Xn}/C_X 1.0801	2.8646	-3.8524	-3.03087	
C_{Yn}/C_Y 2.0178	5.9354	1.6822	3.28374	
C_Y/C_X 0.7102				

【0167】実施例11

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心率)	アッペ数 (傾き角)
-----	------	----	--------------	---------------

39		40	
1	∞ (瞳)		
2	自由曲面①	1.5163 64.15	
		Y -22.988 θ -8.98°	
		Z 50.530	
3	自由曲面②	1.5163 64.15	
		Y -1.449 θ 17.73°	
		Z 76.977	
4	自由曲面①	1.5163 64.15	
		Y -22.988 θ -8.98°	
		Z 50.530	
5	自由曲面③	Y -48.948 θ -78.43°	
		Z 67.306	
6	∞ (像面)	Y -58.973 θ -45.00°	
		Z 77.331	
自由曲面①			
C ₁	6.7120×10^{-4}	C ₂ -1.1797×10^{-4}	C ₃ 0
C ₁₀	2.1250×10^{-5}		
自由曲面②			
C ₁	-2.0716×10^{-3}	C ₂ -3.2040×10^{-3}	C ₃ 0
C ₁₀	1.8112×10^{-5}		
自由曲面③			
C ₁	1.3932×10^{-3}	C ₂ 1.2275×10^{-3}	C ₃ 0
C ₁₀	6.8065×10^{-5}		
自由曲面	①	②	③
C _{Xn}	0.00076	-0.00641	-0.00024 0.02455
C _{Yn}	0.00134	-0.00414	0.00134 0.00279
C _{Xn}	2548.34984	51.44205	1373.93135 -78.8898
C _{Yn}	1445.3327	79.6482	-246.07726 -777.80959
C _X	66.22517		
C _Y	50.40322		
C _{Xn} /C _X	38.4801	0.7768	20.7464 -3.03087
C _{Yn} /C _Y	28.6754	1.5802	1.6822 3.28374
C _Y /C _X	0.7102		

【0168】実施例12

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心率)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	自由曲面①		1.5163 64.15	
		Y 0.000 θ 4.56°		
		Z 48.036		
3	自由曲面②		1.5163 64.15	
		Y 0.781 θ 54.56°		
		Z 76.770		
4	自由曲面③		1.5163 64.15	
		Y -28.138 θ 83.15°		
		Z 85.930		
5	自由曲面②		Y 0.781 θ 54.56°	
		Z 76.770		
6	∞ (像面)		Y 14.258 θ 50.00°	
		Z 111.028		

(22)

特開平10-161018

41

42

自由曲面①

 C_1 6.1734×10^{-3}
 C_{10} 5.7752×10^{-5}
 C_7 9.9567×10^{-3}
 C_8 2.2653×10^{-3}

自由曲面②

 C_1 9.6423×10^{-4}
 C_{10} 1.8481×10^{-5}
 C_7 3.0939×10^{-3}
 C_8 4.2479×10^{-6}

自由曲面③

 C_1 3.8994×10^{-3}
 C_{10} 1.7324×10^{-5}
 C_7 4.1772×10^{-3}
 C_8 -4.2157×10^{-6}

自由曲面

①

②

③

④

CXn	0.01991	0.00619	0.00835	0.00534
CYn	0.01235	0.00193	0.00780	0.00134
FXn	97.2750	-53.2704	39.4902	-362.6865
FYn	156.8215	-170.8516	42.2748	-1445.3327
FX	55.61735			
FY	45.53734			
FXn/FX	1.7490	-0.9578	0.7100	-6.52110
FYn/FY	3.4438	-3.7519	0.9284	-31.7395
FY/FX	0.81876			

【0169】実施例13

20

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心率)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	自由曲面①		1.5254	56.25
		Y	0.000 θ	0.00°
		Z	4.230	
3	自由曲面②		1.5254	56.25
		Y	0.000 θ	-53.34°
		Z	14.245	
4	∞		1.5254	56.25
		Y	47.807 θ	57.45°
		Z	28.564	
5	自由曲面①		1.5254	56.25
		Y	0.000 θ	0.00°
		Z	4.230	
6	自由曲面②		1.5254	56.25
		Y	0.000 θ	-53.34°
		Z	14.245	
7	∞ (像面)		1.5254	56.25
		Y	0.000 θ	-19.11°
		Z	26.296	

自由曲面①

 C_1 1.0924×10^{-3}
 C_{10} 1.0202×10^{-5}
 C_{16} -5.8312×10^{-7}
 C_{11} 2.5790×10^{-8}
 C_7 7.2551×10^{-3}
 C_{12} 1.0606×10^{-5}
 C_{17} -9.2779×10^{-9}
 C_8 -1.1681×10^{-5}
 C_{14} -8.1164×10^{-7}
 C_{19} 1.0029×10^{-8}

自由曲面②

 C_1 -6.7102×10^{-4}
 C_{10} -5.9967×10^{-6}
 C_{16} 1.4776×10^{-7}
 C_{11} -2.3892×10^{-7}
 C_7 3.6136×10^{-4}
 C_{12} 2.8639×10^{-7}
 C_{17} 3.7664×10^{-8}
 C_8 -1.3035×10^{-5}
 C_{14} 1.1362×10^{-6}
 C_{19} -3.4413×10^{-8}

自由曲面

①

②

③

④

OXn	0.01451	0.00070	0.01421	0.00075
CYn	0.00218	-0.00134	0.00586	-0.00171
FXn	133.4766	-471.0622	23.2050	-2582.3278
FYn	888.4155	246.0773	56.2702	1132.5999
FX	34.36426			
FY	31.49606			
FXn/FX	3.8842	13.7079	0.6753	75.1457
FYn/FY	28.2072	7.8130	1.7866	35.9601
FY/FX	0.9165			

【0170】次に、前記の条件(1-1)～(3-3)の少なくとも1つを満足する回転非対称な面を少なくとも1面有する本発明に基づく偏心光学系の面の配置に関する実施例について説明する。以下の説明において、物体面、像面は相対的なものであり、物体面を像面に、像面を物体面に変更して光路を逆に用いることができるのは自明である。

【0171】実施例14

図14に示したように、この偏心光学系10は、物体からの入射の順に、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第3の反射面R3、第4の反射面R4、第2の透過面T2から構成され、光線は第1の透過面T1から光学系に入射し、第1の反射面R1で反射され、第2の反射面R2で反射され、第3の反射面R3で反射され、第4の反射面R4で反射され、第2の透過面T2を透過し、第1の透過面T1に入射するときと異なる方向に射出して像面に到る。像面を物体面にして光路を逆に用いることができる。

【0172】実施例15

図15に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2を同一の面形状としたものである。

【0173】実施例16

図16に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第2の透過面T2と第3の反射面R3を同一の面形状としたものである。

【0174】実施例17

図17に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の反射面R1と第3の反射面R3を同一の面形状としたものである。

【0175】実施例18

図18に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第2の反射面R2と第4の反射面R4を同一の面形状としたものである。

【0176】実施例19

図19に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2と第4の反射面R4を同一の面形状としたものである。

【0177】実施例20

図20に示したように、この偏心光学系10は、図14

と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2、第1の反射面R1と第3の反射面R3をそれぞれ同一の面形状としたものである。

【0178】実施例21

図21に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2、第1の透過面T2と第3の反射面R3をそれぞれ同一の面形状としたものである。

【0179】実施例22

図22に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の反射面R1と第3の反射面R3、第2の反射面R2と第4の反射面R4をそれぞれ同一の面形状としたものである。

【0180】実施例23

図23に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第2の反射面R2と第4の反射面R4、第2の透過面T2と第3の反射面R3をそれぞれ同一の面形状としたものである。

【0181】実施例24

図24に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2と第4の反射面R4、第2の透過面T2と第3の反射面R3をそれぞれを同一の面形状としたものである。

【0182】実施例25

図25に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2と第4の反射面R4、第1の反射面R1と第3の反射面R3をそれぞれを同一の面形状としたものである。

【0183】実施例26

図26に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2、第2の透過面T2と第1の反射面R1と第3の反射面R3をそれぞれを同一の面形状としたものである。

【0184】実施例27

図27に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第2の反射面R2と第4の反射面R4、第2の透過面T2と第1の反射面R1と第3の反射面R3をそれぞれを同一の面形状としたものである。

る。

【0185】実施例28

図28に示したように、この偏心光学系10は、図14と同様の配置において、第1の透過面T1と第2の反射面R2と第4の反射面R4、第2の透過面T2と第1の反射面R1と第3の反射面R3をそれぞれを同一の面形状としたものである。

【0186】実施例29

この実施例は、本発明に基づく偏心光学系が、回転非対称面と回転対称面からなる場合の加工方法に関する実施例である。図29に示すように、この偏心光学系10は、物体からの入射の順に、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、光線は第1の透過面T1から光学系に入射し、第1の反射面R1で反射され、第2の反射面R2で反射され、第2の透過面T2を透過し、第1の透過面T1に入射するときと異なる方向に射出して像面に到るものであり、第2の透過面T2と第1の反射面R1が同一の面形状である実施例である。この場合、第1の透過面T1が回転対称面、第1の反射面R1、第2の反射面R2が回転非対称面から構成する場合、最初に回転非対称面R1、R2を加工して、その後回転対称面T1を加工する。このような加工順にすると、各面の位置を合わせやすくなり、製作精度が向上する。

【0187】実施例30

この実施例は、本発明に基づく偏心光学系を回転非対称面を含む部分と他の部分のいくつかに分割して各々加工し、その後それらの部分を接合して製作する実施例である。図30に示すように、この偏心光学系10は、図10と同様に、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、光線は第1の透過面T1から光学系に入射し、第1の反射面R1で反射され、第2の反射面R2で反射され、第2の透過面T2を透過し、第1の透過面T1に入射するときと異なる方向に射出して像面に到るものであり、第1の透過面T1が回転対称面、第1の反射面R1、第2の反射面R2が回転非対称面、第2の透過面T2が回転対称面からなる場合に、第1の反射面R1を含む第1の部分14、第2の反射面R2を含む第2の部分15、第1の透過面T1及び第2の透過面T2を含む第3の部分16の3つの部分に分割し、それぞれの部分の面を加工した後に、3つの部分14、15、16を接合して偏心光学系10を製作する。このような製作方法をとると、回転非対称面を平面の薄い部材に加工することになり、加工中の部品の歪み等に起因する加工精度の悪化が避けられる。なお、回転非対称面を射出成形により製作する場合は、なるべく光学部品が薄い方が射出成形後の樹脂の歪みを少なくすることが可能である。

【0188】実施例31

図31に示すように、接眼光学系として反射面Mを含む

折り曲げ光路を有する場合に、その反射面Mを回転非対称面としパワーを持たせた実施例である。このようにすると、接眼光学系において透過型レンズを省略することが可能となる。さらに、光路を折り曲げたことにより、接眼光学系を小型に構成することが可能となる。なお、同様にして接眼光学系の倒立プリズムにパワーを持たせることもできる。

【0189】同様に、図32に示すように、接眼光学系が2つの反射面M1、M2を含む折り曲げ光路を有する場合に、少なくともその一方の反射面M1を回転非対称面でパワーを持つものとすることもできる。

【0190】実施例32

図33に示すように、結像光学系として反射面M3を含む折り曲げ光路を有する場合に、その反射面M3を回転非対称面としパワーを持たせた実施例である。このようにすると、結像光学系において透過型レンズを省略することが可能となる。さらに、光路を折り曲げたことにより、結像光学系を小型に構成することが可能となる。なお、同様にして結像光学系の倒立プリズムにパワーを持たせることもできる。

【0191】同様に、図34に示すように、結像光学系が2つの反射面M4、M5を含む折り曲げ光路を有する場合に、少なくともその一方の反射面M4を回転非対称面でパワーを持つものとすることもできる。

【0192】実施例33

この実施例は、図35に示すように、図34に示したような結像光学系を対物光学系とし、これと通常の透過型レンズからなる接眼光学系17とを組み合わせる望遠鏡、実像式ファインダー等のアフォーカル光学系とした実施例である。これは、例えば倒立像を得るためのプリズム光学系にパワーを持たせて対物光学系とすることにより、光学系を小型に構成することが可能となる。さらに、例えば、カメラの実像式ファインダーの対物レンズを倒立プリズムに回転非対称面を使用した光学系により構成することにより、小型化で構造の簡略なカメラのファインダーとすることが可能である。なお、図35のように、偶数回の反射により正立像が得られる。

【0193】実施例34

この実施例は、図36に示すように、図32に示したような接眼光学系と、通常の透過型レンズからなる結像光学系18を対物光学系として組み合わせる望遠鏡、実像式ファインダー等のアフォーカル光学系とした実施例である。このようにして、特に構成が複雑となる焦点距離が短いアフォーカル光学系を小型にすることが可能となる。焦点距離100mm以下の接眼光学系では、小型にする効果が大い。なお、図36のように、偶数回の反射により正立像が得られる。

【0194】実施例35

この実施例は、図37に示すように、図34に示したような結像光学系を対物光学系とし、これと図32に示し

たような接眼光学系とを組み合わせる望遠鏡、実像式ファインダー等のアフォーカル光学系とした実施例である。この組み合わせによると、アフォーカル光学系をさらに小型にすることが可能である。なお、倒立プリズムに非回転対称面を使用し、このプリズム光学系にパワーを持たせることにより、対物レンズ又は接眼レンズの構造を簡略化又は省略することができる。この場合にも、このアフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られるものとして行うことができる。

【0195】次に、本発明による条件(1-1)～(3-3)の少なくとも1つを満足する回転非対称な面を少なくとも1面有する偏心光学系を用いた各種光学装置の光学系の実施例について説明する。

【0196】実施例36

この実施例は、図38に斜視図を示すようなファインダー19と撮影レンズ20と不図示の写真フィルムあるいはCCD等の撮像素子とからなるカメラ21のファインダー19の接眼光学系として、本発明による偏心光学系を用いた実施例である。この実施例のファインダーは、図39に示したように、通常の透過型レンズからなる結像光学系18を対物光学系とし、接眼光学系27として、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1が回転非対称な面で構成された本発明による偏心光学系を用いている。この実施例の場合、結像光学系18による像面は、接眼光学系27の第1の透過面T1と第1の反射面R1の間に位置している。

【0197】実施例37

この実施例は、図38のカメラ21のファインダー19の対物光学系として、本発明による偏心光学系を用いた実施例である。この実施例のファインダーは、図40に示したように、対物(結像)光学系28として、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1が回転非対称な面で構成された本発明による偏心光学系を用いており、接眼光学系17として通常の透過型レンズからなるものを用いている。この実施例の場合、結像光学系18による像面はその第2の透過面T2と一致している。

【0198】実施例38

この実施例は、図38のカメラ21のファインダー19の光学系全体を本発明による偏心光学系とした実施例である。この実施例のファインダーは、図41に示したように、対物(結像)光学系28と接眼光学系27を透明体で一体に構成したもので、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の透過面T1と第1の反射面R1で結像光学系28を、第2の反射面R2と第2の透過面T2で接眼光学系27を構成しており、4つの面T1、R1、R2、T2の少なくとも1つが回転非対称面からなっている。

いる。

【0199】実施例39

この実施例は、図42に斜視図を示すような双眼鏡23の各眼用光学系の接眼光学系として、本発明による偏心光学系を用いた実施例である。この実施例の双眼鏡光学系は、図43に示したように、通常の透過型レンズからなる結像光学系18を対物光学系とし、接眼光学系27として、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1が回転非対称な面で構成された本発明による偏心光学系を用いている。この実施例の場合、結像光学系18による像面は、接眼光学系27の第1の透過面T1と第1の反射面R1の間に位置している。

【0200】実施例40

この実施例は、図42の双眼鏡23の各眼用光学系の対物光学系として、本発明による偏心光学系を用いた実施例である。この実施例の双眼鏡光学系は、図44に示したように、対物(結像)光学系28として、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1が回転非対称な面で構成された本発明による偏心光学系を用いており、接眼光学系17として通常の透過型レンズからなるものを用いている。この実施例の場合、結像光学系18による像面はその第2の透過面T2と略一致している。

【0201】実施例41

この実施例は、図42の双眼鏡23の各眼用光学系全体を本発明による偏心光学系とした実施例である。この実施例の片眼用光学系は、図45に示したように、対物(結像)光学系28と接眼光学系27を透明体で一体に構成したもので、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の透過面T1と第1の反射面R1で結像光学系28を、第2の反射面R2と第2の透過面T2で接眼光学系27を構成しており、4つの面T1、R1、R2、T2全てが回転非対称面からなっている。

【0202】実施例42

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21のファインダー19として虚像式アフォーカル光学系からなる虚像式ファインダーの実施例である。この実施例のファインダー光学系は、図46に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されており、第1の反射面R1が主として正パワーを、第2の反射面R2が主として負パワーを担っている虚像式ア

フォーカル光学系29からなっている。

【0203】実施例43

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図47に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側に配置した通常のレン

【0204】実施例44

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図48に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その像側に配置した通常のレン

【0205】実施例45

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図49に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側に配置した通常のレン

【0206】実施例46

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図50に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側あるいは像側（図の場合は物体側）に配置した通常の正のレンズ群25とからなるものである。

【0207】実施例47

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図51に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反

射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側あるいは像側（図の場合は物体側）に配置した通常の負のレンズ群26とからなるものである。

【0208】実施例48

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図52に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側あるいは像側（図の場合は物体側）又は物体側と像側に合わせて2つ以上のレンズ群30、31（図の場合は2つ）を配置し、レンズ群30と31の間隔、及び、レンズ群30、31と偏心光学系10と間隔を変えて変倍するものである。この場合、一般には像面は変倍に伴って移動する。

【0209】実施例49

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図53に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側あるいは像側（図の場合は物体側）に1つのレンズ群を配置し、一方を負レンズ群（図の場合は物体側のレンズ群）32とし、他方を正レンズ群（図の場合は偏心光学系10物体側のレンズ群）33として、両レンズ群32と33の間隔を変えて変倍するものである。この場合、像面は一定とすることができる。

【0210】実施例50

この実施例は、図38に斜視図を示すようなカメラ21の撮影レンズ20の実施例である。この実施例の撮影光学系は、図54に示したように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10と、その物体側あるいは像側（図の場合は物体側）又は物体側と像側に2つのレンズ群を配置し、合わせて3つのレンズ群34、35、36で構成し、レンズ群34と35の間隔、及び、レンズ群35と36の間隔を変えて変倍するものである。この場合、像面は一定とすることができる。

【0211】実施例51

この実施例は、図55に示すように、カメラ等の対物レンズ系に用いられる防振光学系の一部に本発明による偏

心光学系10を用いた実施例であり、図の場合は、防振光学系の主要部を構成する頂角可変プリズム37の像側に配置する対物レンズとして、図34に示した2つの反射面M4、M5からなり折り曲げ光路を形成する結像光学系10を用いている。

【0212】実施例52

この実施例は、カメラ等の対物レンズ系等に用いられる屈折力可変光学系を構成するレンズとして本発明による偏心光学系を用いた実施例であり、図56に示すように、紙面に垂直に存在する光軸に垂直なX軸方向に屈折力が変化する回転非対称な曲面を備えた第1偏心光学系38と、光軸とX軸方向の両方に垂直なY軸方向に屈折力が変化する回転非対称な曲面を備えた第2偏心光学系39とを有し、第1偏心光学系38をX軸方向に沿って移動させ、また、第2偏心光学系39をY軸方向に沿って移動させることにより、合成光学系の屈折力を変化させることができる。図58の場合、第1偏心光学系38の入射側の面のX軸に沿う位置のY軸方向の曲率半径が大から小へ変化し、また、第2偏心光学系39の射出側の面のY軸に沿う位置のX軸方向の曲率半径が小から大へ変化する回転非対称な曲面となっている。

【0213】実施例53

この実施例は、カメラのファインダー内表示光学系の一部に本発明による偏心光学系を用いた実施例であり、図57に示すように、撮影レンズ40、クイックリターンミラー41、ペンタプリズム42、接眼レンズ43、及び、不図示の写真フィルムよりなる一眼レフカメラのファインダー内に、表示部44に表示された露出値等のデータを表示するために、本発明による偏心光学系10を用いている。この偏心光学系10は、図11に示したような3面からなり、第1透過面と第2反射面を共通にした2回反射の偏心光学系であり、表示部44に表示された物体は、偏心光学系10、ペンタプリズム42、接眼レンズ43を順に通過して、視野内あるいは視野周辺に表示部44に表示された像を拡大表示する。

【0214】実施例54

この実施例は、カメラのオートフォーカス(AF)光学系の一部に本発明による偏心光学系を用いた実施例であり、図58に示すように、撮影レンズ40、クイックリターンミラー41、ペンタプリズム42、接眼レンズ43、及び、不図示の写真フィルムよりなる一眼レフカメラにおいて、撮影レンズ40から入射してきた物体からの光は、クイックリターンミラー41を透過し、本発明による偏心光学系10を介してAF測距部45に達する。この偏心光学系10は、図11に示したような3面からなり、第1透過面と第2反射面を共通にした2回反射の偏心光学系である。

【0215】実施例55

この実施例は、カメラの自動露出制御(AE)光学系の一部に本発明による偏心光学系を用いた実施例であり、

図59に示すように、撮影レンズ40、クイックリターンミラー41、ペンタプリズム42、接眼レンズ43、及び、不図示の写真フィルムよりなる一眼レフカメラにおいて、撮影レンズ40から入射してきた物体からの光は、クイックリターンミラー41を経てペンタプリズム42に到るが、ペンタプリズム42の反射面を通して本発明による偏心光学系10へ一部の光が導かれ、AE測定部46に達する。この偏心光学系10は、図11に示したような3面からなり、第1透過面と第2反射面を共通にした2回反射の偏心光学系である。

【0216】実施例56

この実施例は、カメラのデイト等のデータ写し込み光学系として本発明による偏心光学系を用いた実施例であり、図60に示すように、撮影レンズ40、クイックリターンミラー41、ペンタプリズム42、接眼レンズ43、及び、写真フィルム47よりなる一眼レフカメラにおいて、日付表示部48に表示されたデイト等のデータを本発明による偏心光学系10によりフィルム47の周辺部へ結像するものである。この偏心光学系10は、図11に示したような3面からなり、第1透過面と第2反射面を共通にした2回反射の偏心光学系である。

【0217】実施例57

この実施例は、図61に示すように、カメラ等の撮影レンズ40の焦点距離を変換するために、その前あるいは後(図の場合は前)に装着するコンバーターレンズ49として本発明による偏心光学系10を用いた実施例であり、図の場合は、図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いている。

【0218】実施例58

この実施例は、図62に示すように、本発明による偏心光学系10を用いた図47の撮影光学系の像面に銀塩フィルム47を配置して構成したカメラの実施例である。

【0219】実施例59

この実施例は、図63に示すように、本発明による偏心光学系10を用いた図47の撮影光学系の像面に撮像素子50を配置して構成したカメラの実施例である。

【0220】実施例60

この実施例は、図64に示すように、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の反射面R1と第2の透過面T2が同一の面形状をしており、第1の反射面R1、第2の反射面R2共回転非対称な面で構成されている本発明による偏心光学系10を観察用光学系として用いた実施例であり、光路を逆にして第2の透過面T2の前方に配置した物体51の偏心光学系10による拡大像を眼で観察するものである。

【0221】実施例61

この実施例は、図65に示すように、ドーププリズム状をしていて、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の透過面T2から構成され、この3面共回転非対称な

面で構成されている本発明による偏心光学系10をイメージローテーター52とした実施例であり、イメージローテーターに結像特性等を持たせることができる。

【0222】実施例62

この実施例は、図66に示すように、対物レンズ53と接眼レンズ54とからなり、標本面55上の試料を拡大して観察する顕微鏡の対物レンズ53として本発明による偏心光学系10を用いた実施例であり、図の場合、偏心光学系10はペンタプリズムの1面以上をパワーを有する回転非対称面としている。

【0223】実施例63

この実施例は、図67に示すように、対物レンズ53と接眼レンズ54とからなり、標本面55上の試料を拡大して観察する顕微鏡の接眼レンズ54として本発明による偏心光学系10を用いた実施例であり、図の場合、偏心光学系10はペンタプリズムの1面以上をパワーを有する回転非対称面としている。

【0224】実施例64

この実施例は、図68に示すように、対物レンズ53と中間像をリレーするリレーレンズ56と接眼レンズ54とからなり、標本面55上の試料を拡大して観察する顕微鏡のリレーレンズ56として本発明による偏心光学系10を用いた実施例であり、図の場合、偏心光学系10はペンタプリズムの1面以上をパワーを有する回転非対称面としている。

【0225】実施例65

この実施例は、図69に示すように、顕微鏡用照明光学系として、光源57からの発散光束を集束光束に変換する反射ミラー58として1つの反射面からなる本発明による偏心光学系10を用いた実施例である。

【0226】実施例66

この実施例は、図70に示すように、光源57と光束分割系59からなり、光源57からの光束を光束分割系59で反射させ、その光束を対物レンズ53により標本面55上に向け、標本面55上の試料から反射散乱された光は、今度は対物レンズ53と光束分割系59を介して不図示の接眼レンズに入射させる顕微鏡落射型照明光学系において、光束分割系59の分割面、反射面等に本発明による回転非対称面を適用した実施例である。なお、図の場合、光源57からの発散光束を集束光束に変換する反射ミラー58にも本発明による回転非対称面を用いている。

【0227】実施例67

この実施例は、図71に示すように、光源57と光偏向系60からなり、標本面55を下から照明する顕微鏡透過型照明光学系において、光偏向系60を構成するペンタプリズムの反射面等に本発明による回転非対称面を適用した実施例である。なお、図の場合、光源57からの発散光束を集束光束に変換する反射ミラー58にも本発明による回転非対称面を用いている。

【0228】実施例68

この実施例は、図72に示すように、対物レンズ53からの光束を光束分割系59により2つに分け、一方を直接一方の接眼レンズ54へ導き、主検鏡者が観察可能にし、光束分割系59で分けられた他方の光束を光偏向系60を介して他方の接眼レンズ54へ導き、副検鏡者が観察可能にするマルチディスカッション顕微鏡において、光束分割系59、光偏向系60を本発明による偏心光学系10とした実施例である。

10 【0229】実施例69

この実施例は、図73に示すように、光束分割系59によって対物レンズ53を経て観察される標本面55上の試料像と描画面61上の描画中の像とを合成して、接眼レンズ54を介して同時に観察可能とする顕微鏡用描画装置において、描画光路中に配置されている光偏向系60として本発明による偏心光学系10を用いた実施例であり、図の場合、偏心光学系10はペンタプリズムの1面以上をパワーを有する回転非対称面としている。

【0230】実施例70

この実施例は、図74に示すように、対物レンズ53と光偏向反射プリズム62と接眼レンズ54とからなる顕微鏡において、光偏向反射プリズム62の反射面に本発明による偏心光学系10を貼り付け、この偏心光学系10を介して焦点検出器63に標本面55上の試料からの光束を入射させてオートフォーカスを行う自動焦点調節顕微鏡の光学系の実施例である。この偏心光学系10は、図11に示したような3面からなり、第1透過面と第2反射面を共通にした2回反射の偏心光学系である。

【0231】実施例71

この実施例は、図75に示すように、標本面55を下から観察する倒立型顕微鏡において、対物レンズ53からの光束を接眼レンズ54へ導く光偏向系60等に本発明による偏心光学系10を用いた実施例である。図の場合、何れの偏心光学系10もペンタプリズムの1面以上をパワーを有する回転非対称面としているものである。

【0232】実施例72

次に、内視鏡に本発明による偏心光学系を適用する実施例について説明する。以下に説明において、内視鏡は、特に断らない限り、図76に示すようなイメージ光ファイバー束やリレーレンズ系を用いた内視鏡64と、図77に示すような電子内視鏡71とを意味する。図76の内視鏡64は、図示しない結像光学系及び照明光学系を内装する挿入部65とカメラ66とモニター67と光源装置68とを有している。内視鏡64は、その挿入部65の先端部69には、結像光学系とその視野方向を照射するライトガイドとが組み込まれている。挿入部65には、結像光学系に続き、像や瞳の伝達光学系であるリレーレンズ系が設けられている。内視鏡64の基部には、図示しない接眼光学系が配置され、その接続光学系の後には、撮像手段としてのカメラ66を取り付けることが

可能である。また、光源装置68からの照明光は、ライトガイドケーブル70を通し、上記基部、挿入部65及び先端部68を経て視野方向を照明する。

【0233】また、結像光学系及び照明光学系を内装している図77の電子内視鏡71は、照明光を供給する光源装置72と、この電子内視鏡71に対応する信号処理を行うビデオプロセッサ73と、このビデオプロセッサ73から出力される映像信号を表示するモニター74と、このビデオプロセッサ73と接続され映像信号等を記録するVTRデッキ75、及び、ビデオディスク76と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ77と共に構成されており、電子内視鏡71の挿入部78の先端部79には、結像光学系と撮像手段とその視野方向を照射するライトガイドとが組み込まれている。

【0234】さて、図78にこれら内視鏡の先端部内の対物光学系に本発明による回転非対称面を有する偏心光学系10を用いたいくつかの例を示す。図78(a)は側視電子内視鏡であり、保護ガラスを兼用するレンズ80の後部に、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、少なくとも1面が回転非対称な面で構成された本発明による偏心光学系10を配置し、光軸を略90°偏向させ、その像面に2次元撮像素子81が配置されている。もちろん、2次元撮像素子81の代わりにオプティカルファイバーの端面を配置して図76のような内視鏡に構成することもできる。

【0235】図78(b)は内視鏡像をガイドするオプティカルファイバー82を用いた内視鏡であり、斜め前方が観察できる構成である。保護ガラスを兼用するレンズ80の後部に、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、第1の透過面T1と第2の反射面R2が同一の面形状をしており、少なくとも1面が回転非対称な面で構成された本発明による偏心光学系10を配置し、光軸を数十度偏向させ、その像面にオプティカルファイバー82の端面が配置されている。

【0236】図78(c)は直視電子内視鏡であり、第1の透過面T1、第1の反射面R1、第2の反射面R2、第2の透過面T2から構成され、少なくとも1面が回転非対称な面で構成された図12のような本発明による偏心光学系10を配置し、光軸に対して斜めに傾いた像面に2次元撮像素子81が配置されている。

【0237】実施例73

この実施例は、図79(a)、(b)に示すように、図78(a)、(b)と同様な配置において、偏心光学系10の入射側に、保護ガラスを兼用するレンズ80の代わりに透明保護板83を配置した実施例である(ただし、図79(b)においては、偏心光学系10像面に2次元撮像素子81が配置されている。)

【0238】実施例74

この実施例は、図80(a)、(b)に示すように、図78(a)、(b)と同様な配置において、偏心光学系10の入射側の第1の透過面T1を平面にし、保護ガラスを兼用するレンズ80を省いた実施例である(図では、像面に配置する2次元撮像素子81、オプティカルファイバー82は図示していない。)

【0239】実施例75

この実施例は、図81(a)、(b)に示すように、図79(a)、(b)と同様な配置において、偏心光学系10の射出側の第2の透過面T2を平面にした実施例である。

【0240】実施例76

この実施例は、図82(a)、(b)に示すように、図81(a)、(b)と同様な配置において、偏心光学系10の像面を射出側の平面T2に一致させ、2次元撮像素子81をこの面T2に密着させた実施例である。

【0241】実施例77

この実施例は、図83(a)、(b)に示すように、図81(a)、(b)と同様に、偏心光学系10の射出側の第2の透過面T2を平面にした実施例であり、図81と異なるのは、偏心光学系10の像面には2次元撮像素子81の代わりにオプティカルファイバー82の一端を配置してある点である。

【0242】実施例78

この実施例は、図84(a)、(b)に示すように、図82(a)、(b)と同様に、偏心光学系10の像面を射出側の平面T2に一致させ、この場合は、2次元撮像素子81の代わりにオプティカルファイバー82の一端を配置してある。

【0243】実施例79

この実施例は、図85(a)、(b)に示すように、図80(a)、(b)と同様に、偏心光学系10の入射側の第1の透過面T1を平面にし、保護ガラスを兼用するレンズ80を省いており、この場合は、偏心光学系10の像面にオプティカルファイバー82の一端を配置してある。

【0244】実施例80

この実施例は、図81等において、偏心光学系10の入射側に配置した保護ガラス83としてサファイア等の結晶材料を用いた実施例である。

【0245】実施例81

この実施例は、図86(a)、(b)に示すように、図79(a)、(b)と同様な配置において、内視鏡対物光学系の第1面(この場合は、透明保護板83の前面)を内視鏡先端外装より内側へ引っ込ませた実施例である。他の実施例においても、同様に内視鏡対物光学系の第1面を内視鏡先端外装より内側へ引っ込ませる構成にすることができる。

【0246】実施例82

この実施例は、図87(a)、(b)に示すように、図79(a)、(b)と同様の配置において、内視鏡対物光学系の第1面(この場合は、透明保護板83の前面)を内視鏡先端外装より外側へ出っ張らせた実施例である。他の実施例においても、同様に内視鏡対物光学系の第1面を内視鏡先端外装より外側へ出っ張らせる構成にすることができる。

【0247】実施例83

この実施例は、双眼実体顕微鏡の対物光学系による偏心収差を補正するために本発明による偏心光学系10を配置した実施例である。図88に、左右眼の光学系に共通する1つの対物光学系84と、左右眼の光軸上に各々配置された変倍光学系85、結像光学系86及び接眼光学系87とからなり、共通の物体面88上に配置された物体を実体観察可能な顕微鏡の光学系を示す。この実施例においては、対物光学系84の光軸に対して左右眼の光軸が左右にシフトして配置されていることにより発生する偏心収差を補正するために、対物光学系84と左右の変倍光学系85の間に各々本発明による偏心光学系10を配置してある。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いている。もちろん、反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0248】実施例84

この実施例は、図89に示すように、図88のような配置の双眼実体顕微鏡において、対物光学系84の光軸に対して左右眼の光軸が左右にシフトして配置されていることにより発生する偏心収差を補正するために、複数のレンズ群で構成されている左右の変倍光学系85の何れかのレンズ群(図の場合は、3群で構成された第1レンズ群)を本発明による偏心光学系10で構成した実施例である。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いているが、もちろん反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0249】実施例85

この実施例は、図90に示すように、図88のような配置の双眼実体顕微鏡において、対物光学系84の光軸に対して左右眼の光軸が左右にシフトして配置されていることにより発生する偏心収差を補正するために、左右の結像光学系86を本発明による偏心光学系10で構成した実施例である。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いているが、もちろん反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0250】実施例86

この実施例は、図91に示すように、図88のような配置の双眼実体顕微鏡において、対物光学系84の光軸に対して左右眼の光軸が左右にシフトして配置されていることにより発生する偏心収差を補正するために、左右の

接眼光学系87を本発明による偏心光学系10で構成した実施例である。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いているが、もちろん反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0251】実施例87

この実施例は、図92に示すように、左右別々に対物光学系89を有し、左右の光軸が共通の物体面88に対して斜めに傾いている双眼実体顕微鏡において、左右の対物光学系89が物体面88に対して傾いていることにより生じる偏心収差を補正するために、本発明による偏心光学系10をそれぞれの対物光学系89の物体側に配置した実施例である。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いている。もちろん、反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0252】実施例88

この実施例は、図93に示すように、図92のような配置の双眼実体顕微鏡において、左右の対物光学系89が物体面88に対して傾いていることにより生じる偏心収差を補正するために、左右の対物光学系89の一部あるいは全部を構成する対物レンズ90を本発明による偏心光学系10で構成した実施例である。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いているが、もちろん反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0253】実施例89

この実施例は、図94に示すように、図92のような配置の双眼実体顕微鏡において、左右の対物光学系89が物体面88に対して傾いていることにより生じる偏心収差を補正するために、左右の接眼光学系87を本発明による偏心光学系10で構成した実施例である。この実施例における偏心光学系10としては、例えば図1～図4に示したような屈折型偏心光学系を用いているが、もちろん反射面を有する他のタイプの偏心光学系を用いてもよい。

【0254】実施例90

この実施例は、接眼レンズを有する軟性内視鏡等の内視鏡の接眼レンズ部に取り付けて内視鏡像を撮像素子上に投影して撮像する内視鏡用カメラアダプターの光学系に本発明による偏心光学系10を用いた実施例である。図95に示すように、内視鏡の観察光学系91の観察側に取り付けられるカメラアダプター92には、ペンタプリズムの1面以上をパワーを有する回折非対称面として構成された本発明による偏心光学系10と、その像面に配置された2次元撮像素子93とが配置されている。

【0255】実施例91

この実施例は、図96に示すように、図95のような配置の内視鏡用カメラアダプター92において、偏心光学系10の入射側に保護ガラスの役目を果たす平行平板

94を設けた実施例である。

【0256】実施例92

この実施例は、図97に示すように、図95のような配置の内視鏡用カメラアダプター92において、結像性の偏心光学系10と2次元撮像素子93の間隔を調整する機構を設け、フォーカス調整できるようにした実施例である。

【0257】実施例93

この実施例は、図98に示すように、図95のような配置の内視鏡用カメラアダプター92において、偏心光学系10を構成するペンタプリズムの第1反射面をハーフミラー等の光路分割面95とし、2次元撮像素子93による撮像と同時に、内視鏡像を直接観察可能にした実施例である。なお、この実施例の場合、光路分割面95に光軸及びパワー補正光学素子96を貼り付け、観察方向を観察光学系91からカメラアダプター92に入射する光軸と略平行にしている。

【0258】以上、本発明による偏心光学系の基本的な実施例、面の配置に関する実施例、その各種光学素子、光学装置への適用の実施例について説明してきたが、本発明はこれらの実施例に限定されず種々の変形が可能である。

【0259】以上の本発明の光学系は、例えば次のように構成することができる。

〔1〕 光学系が偏心して配置された偏心光学系において、前記光学系を構成する曲面が、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面を少なくとも1面有し、偏心により発生する回転非対称な収差を前記回転非対称面形状で補正することを特徴とする光学系。

$$-1000 < FX / FXn < 1000$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔1〕から〔7〕の何れか1項記載の光学系。

$$-100 < FX / FXn < 100$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔8〕記載の光学系。

$$-10 < FX / FXn < 10$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔8〕記載の光学系。

【0269】〔11〕 物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系

$$-1000 < FY / FYn < 1000$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔1〕から〔10〕の何れか1項記載の光学系。

$$-100 < FY / FYn < 100$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔11〕記載の光学系。

$$-10 < FY / FYn < 10$$

*【0260】〔2〕 前記回転非対称面は、対称面を1つのみ有することを特徴とする面対称自由曲面からなることを特徴とする上記〔1〕記載の光学系。

【0261】〔3〕 前記回転非対称面の対称面は、光学系の各面の偏心方向である偏心面と略同一面内に配置されていることを特徴とする上記〔2〕記載の光学系。

【0262】〔4〕 前記回転非対称面を反射面に用いることを特徴とする上記〔1〕から〔3〕の何れか1項記載の光学系。

【0263】〔5〕 前記反射面は、全反射作用又は反射作用を有する面であることを特徴とする上記〔4〕記載の光学系。

【0264】〔6〕 前記対称面を1面しか持たない回転非対称面は、裏面鏡として用いられていることを特徴とする上記〔2〕又は〔3〕記載の光学系。

【0265】〔7〕 物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とすると、前記主光線に対して前記回転非対称面が傾いて配置されていることを特徴とする上記〔1〕から〔6〕の何れか1項記載の光学系。

【0266】〔8〕 物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入射面側から前記主光線とX方向に微量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをN A' X、前記平行光束の幅dを前記N A' Xで割った値をFXとし、前記回転非対称面の軸上主光線が当たる

部分のX方向の焦点距離FXnとすると、

$$\dots (1-1)$$

*【0267】〔9〕 前記FX、FXnが、

$$\dots (1-2)$$

★【0268】〔10〕 前記FX、FXnが、

$$\dots (1-3)$$

☆系の入射面側から主光線とY方向に微量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がY-Z面内でなす角のsinをN A' Y、前記平行光束の幅dを前記N A' Yで割った値をFYとし、前記回転非対称面の軸上主光線が当たる部分のY方向の焦点距離FYnとすると、

$$\dots (2-1)$$

◆【0270】〔12〕 前記FY、FYnが、

$$\dots (2-2)$$

*【0271】〔13〕 前記FY、FYnが、

$$\dots (2-3)$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔11〕記載の光学系。

〔0272〕〔14〕 物点中心を射出して瞳中心を通り像中心に到達する光線を主光線とし、面の偏心面内をY軸方向、これと直交する方向をX軸方向、X軸、Y軸と直交座標系を構成する軸をZ軸とすると、前記光学系の入射面側から前記主光線とX方向に微量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つ*

$$0.01 < |FY/FX| < 100 \quad \dots (3-1)$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔1〕から10※〔0273〕〔15〕 前記FX、FYが、〔13〕の何れか1項記載の光学系。 ※

$$0.1 < |FY/FX| < 10 \quad \dots (3-2)$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔14〕記載の光学系。 ★

$$0.5 < |FY/FX| < 2 \quad \dots (3-3)$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔14〕記載の光学系。

〔0275〕〔17〕 前記光学系の面は第1の反射面のみから構成され、光線は第1の反射面で反射し、第1の反射面に入射するときと異なる方向に反射されることを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

〔0276〕〔18〕 前記光学系の面は第1の反射面と第1の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、再び第1の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出することを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

〔0277〕〔19〕 前記光学系の面は第1の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出することを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

〔0278〕〔20〕 前記光学系の面は第1の反射面と第2の反射面と第1の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、再び第1の透過面を透過することを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

〔0279〕〔21〕 前記光学系の面は第1の反射面と第2の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、第2の透過面を透過することを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

〔0280〕〔22〕 前記光学系の光路が光路中で交差することを特徴とする上記〔21〕記載の光学系。

〔0281〕〔23〕 前記光学系の光路が光路中で交差しないことを特徴とする上記〔21〕記載の光学系。

*の光線のX-Z面に投影したときのなす角のsinをNA'X、前記平行光束の幅dを前記NA'Xで割った値をFXとし、また、前記光学系の入射面側から主光線とY方向に微量d離れた平行光束を入射させ、光学系から射出する側で前記2つの光線がX-Z面内でなす角のsinをNA'Y、前記平行光束の幅dを前記NA'Yで割った値をFYとすると、

〔0282〕〔24〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔21〕記載の光学系。

〔0283〕〔25〕 前記光学系の第1の反射面と第2の透過面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔21〕記載の光学系。

〔0284〕〔26〕 前記光学系の面は第1の反射面と第2の反射面と第3の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、第3の反射面で反射され、第2の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出することを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

〔0285〕〔27〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔26〕記載の光学系。

〔0286〕〔28〕 前記光学系の第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔26〕記載の光学系。

〔0287〕〔29〕 前記光学系の第1の透過面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔26〕記載の光学系。

〔0288〕〔30〕 前記光学系の第2の透過面と第2の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔26〕記載の光学系。

〔0289〕〔31〕 前記光学系の面は少なくとも第1の反射面と第2の反射面と第3の反射面と第4の反射面と第1の透過面と第2の透過面から構成され、光線は第1の透過面から光学系に入射し、第1の反射面で反射され、第2の反射面で反射され、第3の反射面で反射され、第4の反射面で反射され、第2の透過面を透過し、第1の透過面に入射するときと異なる方向に射出することを特徴とする上記〔1〕から〔16〕の何れか1項記載の光学系。

【0290】〔32〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0291】〔33〕 前記光学系の第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0292】〔34〕 前記光学系の第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0293】〔35〕 前記光学系の第2の反射面と第4の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0294】〔36〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0295】〔37〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面、第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0296】〔38〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面、第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0297】〔39〕 前記光学系の第1の反射面と第3の反射面、第2の反射面と第4の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0298】〔40〕 前記光学系の第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0299】〔41〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0300】〔42〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面、第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0301】〔43〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面、第2の透過面と第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0302】〔44〕 前記光学系の第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0303】〔45〕 前記光学系の第1の透過面と第2の反射面と第4の反射面、第2の透過面と第1の反射面と第3の反射面が同一の面形状であることを特徴とする上記〔31〕記載の光学系。

【0304】〔46〕 最初に回転非対称な面を加工して、その後回転対称な面を加工することにより製作されたことを特徴とする上記〔1〕から〔45〕の何れか1

項記載の光学系。

【0305】〔47〕 少なくとも1面の回転非対称面を加工した光学部品と他の面を加工した光学部品とを接合して製作することを特徴とする上記〔1〕から〔45〕の何れか1項記載の光学系。

【0306】〔48〕 接眼光学系として構成され、折り曲げ光路を有する光学系において、前記折り曲げ光路を構成する反射面がパワーを持つことを特徴とする上記〔1〕から〔47〕の何れか1項記載の光学系。

【0307】〔49〕 結像光学系として構成され、折り曲げ光路を有する光学系において、前記折り曲げ光路を構成する反射面がパワーを持つことを特徴とする上記〔1〕から〔47〕の何れか1項記載の光学系。

【0308】〔50〕 上記〔49〕記載の結像光学系と接眼光学系とよりアフォーカル光学系として構成されていることを特徴とする光学系。

【0309】〔51〕 前記アフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られることを特徴とする上記〔50〕記載の光学系。

【0310】〔52〕 結像光学系と上記〔48〕記載の接眼光学系とよりアフォーカル光学系として構成されていることを特徴とする光学系。

【0311】〔53〕 前記アフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られることを特徴とする上記〔52〕記載の光学系。

【0312】〔54〕 上記〔49〕記載の結像光学系と上記〔48〕記載の接眼光学系とよりアフォーカル光学系として構成されていることを特徴とする光学系。

【0313】〔55〕 前記アフォーカル光学系は、偶数回の反射により正立像が得られることを特徴とする上記〔54〕記載の光学系。

【0314】〔56〕 カメラ光学系として構成され、カメラ内部の光学手段として配置されていることを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

【0315】〔57〕 前記カメラ光学系をカメラの実像式ファインダー光学系の内部に配置したことを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

【0316】〔58〕 前記カメラ光学系をカメラの虚像式ファインダー光学系の内部に配置したことを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

【0317】〔59〕 前記カメラ光学系をファインダー光学系の対物レンズ系の内部に配置したことを特徴とする上記〔57〕又は〔58〕記載の光学系。

【0318】〔60〕 前記カメラ光学系をファインダー光学系の接眼光学系の内部に配置したことを特徴とする上記〔57〕又は〔58〕記載の光学系。

【0319】〔61〕 前記カメラファインダー光学系の対物レンズ系の物体側に少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズを配置し、そのレンズよりも観察側に前

記カメラ光学系を配置したことを特徴とする上記〔59〕記載の光学系。

〔0320〕〔62〕 前記カメラファインダー光学系の対物レンズ系の物体側に前記光学系を配置し、その観察側に少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズを配置したことを特徴とする上記〔59〕記載の光学系。

〔0321〕〔63〕 前記カメラファインダー光学系の対物レンズ系が、物体側に配置された少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズと、その観察側に配置された前記カメラ光学系と、その観察側に配置された少なくとも1枚の屈折力がゼロでないレンズとを有することを特徴とする上記〔59〕記載の光学系。

〔0322〕〔64〕 前記カメラファインダー光学系の対物レンズ系が、前記カメラ光学系と、全体の屈折力がゼロより大きい正レンズ群とからなる2群にて構成されていることを特徴とする上記〔59〕記載の光学系。

〔0323〕〔65〕 前記カメラファインダー光学系の対物レンズ系が、前記カメラ光学系と、全体の屈折力がゼロより小さい負レンズ群とからなる2群にて構成されていることを特徴とする上記〔59〕記載の光学系。

〔0324〕〔66〕 前記対物レンズ系が、前記カメラ光学系と前記レンズ群との群間隔を変化させることによって変倍をすることを特徴とする上記〔64〕又は〔65〕記載の光学系。

〔0325〕〔67〕 前記対物レンズ系が、前記カメラ光学系と、全体の屈折力がゼロより大きい正レンズ群と、全体の屈折力がゼロより小さい負レンズ群とからなる3群にて構成されていることを特徴とする上記〔59〕記載の光学系。

〔0326〕〔68〕 前記対物レンズ系が、前記カメラ光学系と前記正レンズ群と前記負レンズ群との夫々の群間隔を変化させることによって変倍をすることを特徴とする上記〔67〕記載の光学系。

〔0327〕〔69〕 物体像を形成する対物レンズ系と、前記物体像を観察する接眼光学系とを有する実像式ファインダー光学系が、撮影情報等を表示するために前記物体像とは別の表示像を形成するファインダー内表示光学系を備え、そのファインダー内表示光学系には前記カメラ光学系が配置されていることを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

〔0328〕〔70〕 物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段と、物体距離に伴って変化する前記物体像の形成位置と前記撮像手段との位置ずれを測定する測距部とを有し、前記測距部の光学手段として前記カメラ光学系が配置されていることを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

〔0329〕〔71〕 物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段と、物体の明るさに伴って変化する前記撮像手段への露光量の最適値を測定する測光部とを有し、前記測光部の光学手段として前記

カメラ光学系が配置されていることを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

〔0330〕〔72〕 物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段と、撮影日時等の情報像を表示するデート表示部と、前記デート表示部により表示された情報像を前記撮像手段に結像させる情報像形成光学系とを有し、前記情報像形成光学系として前記カメラ光学系が配置されていることを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

〔0331〕〔73〕 物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段として設けられた銀塩フィルムとを有し、前記対物レンズ系として前記カメラ光学系が配置されていることを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

〔0332〕〔74〕 物体像を形成する対物レンズ系と、その物体像を受光する撮像手段として設けられた電子撮像装置とを有し、前記対物レンズ系として前記カメラ光学系が配置されていることを特徴とする上記〔56〕記載の光学系。

〔0333〕〔75〕 前記対物レンズ系が、前記カメラ光学系と、振動によって生じる手ぶれ等の像ぶれを防止する機能を有する防振光学系とを有することを特徴とする上記〔73〕又は〔74〕記載の光学系。

〔0334〕〔76〕 前記防振光学系が楔形状のプリズムから構成されていることを特徴とする上記〔75〕記載の光学系。

〔0335〕〔77〕 前記対物レンズ系中に配置された前記カメラ光学系が屈折力が変化するように構成されていることを特徴とする上記〔73〕又は〔74〕記載の光学系。

〔0336〕〔78〕 前記カメラ光学系は、光軸に垂直な第1の方向に屈折力が変化する回転非対称な曲面を備えた第1偏心光学系と、光軸と第1の方向の両方に垂直な第2の方向に屈折力が変化する回転非対称な曲面を備えた第2偏心光学系とを有し、前記第1偏心光学系を前記第1の方向に沿って移動させ、及び／又は、前記第2偏心光学系を前記第2の方向に沿って移動させることにより、前記カメラ光学系の屈折力が変化するように構成されていることを特徴とする上記〔77〕記載の光学系。

〔0337〕〔79〕 コンバータレンズとして構成されていることを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

〔0338〕〔80〕 前記光学系を双眼鏡内部の光学手段に配置したことを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

〔0339〕〔81〕 前記光学系を双眼鏡内部の対物レンズ系に配置したことを特徴とする上記〔80〕記載の光学系。

〔0340〕〔82〕 前記光学系を双眼鏡内部の接眼

10

20

30

40

50

レンズ系に配置したことを特徴とする上記〔80〕記載の光学系。

〔0341〕〔83〕 前記光学系を双眼鏡内部の対物レンズ系と接眼レンズ系の夫々に配置したことを特徴とする上記〔80〕記載の光学系。

〔0342〕〔84〕 前記光学系をイメージローテータの入射面、及び／又は、射出面に配置したことを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

〔0343〕〔85〕 前記光学系を顕微鏡内部の光学手段に配置したことを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

〔0344〕〔86〕 前記光学系を顕微鏡用対物光学系に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0345〕〔87〕 前記光学系を顕微鏡用接眼光学系に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0346〕〔88〕 前記光学系を顕微鏡用中間像リレー光学系に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0347〕〔89〕 前記光学系を顕微鏡用照明系に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0348〕〔90〕 前記光学系を顕微鏡用落射照明系に配置したことを特徴とする上記〔89〕記載の光学系。

〔0349〕〔91〕 前記光学系を顕微鏡用透過照明系に配置したことを特徴とする上記〔89〕記載の光学系。

〔0350〕〔92〕 前記光学系を顕微鏡用マルチディスカッション鏡筒に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0351〕〔93〕 前記光学系を顕微鏡用描画装置光学系に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0352〕〔94〕 前記光学系を顕微鏡用オートフォーカスシステムに配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0353〕〔95〕 前記光学系を倒立型顕微鏡用投影光学系に配置したことを特徴とする上記〔85〕記載の光学系。

〔0354〕〔96〕 前記光学系を右眼用光軸と左眼用光軸と有した双眼実体顕微鏡内部の光学手段に配置したことを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

〔0355〕〔97〕 前記右眼用光軸と左眼用光軸とにかかる対物レンズ系を有し、前記対物レンズ系により発生する偏心収差を補正するために、前記右眼用光軸と左眼用光軸の夫々に前記光学系を設けたことを特徴とする上記〔96〕記載の光学系。

〔0356〕〔98〕 前記光学系を変倍光学系内に設けたことを特徴とする上記〔97〕記載の光学系。

〔0357〕〔99〕 前記光学系を結像光学系内に設けたことを特徴とする上記〔97〕記載の光学系。

〔0358〕〔100〕 前記光学系を接眼光学系内に設けたことを特徴とする上記〔97〕記載の光学系。

〔0359〕〔101〕 前記左右の光軸がそれぞれ物体面に対して傾斜して配置され、前記右眼用光軸に設けられた対物レンズ系と前記左眼用光軸に設けられた対物レンズ系とにより発生する収差を補正するために、前記右眼用光軸と左眼用光軸の夫々に前記光学系を設けたことを特徴とする上記〔96〕記載の光学系。

〔0360〕〔102〕 前記左右に設けられた光学系が前記左右の光軸上で最も物体側に配置されていることを特徴とする上記〔101〕記載の光学系。

〔0361〕〔103〕 前記左右に設けられた光学系が前記左右の対物レンズ系よりも像側に配置されていることを特徴とする上記〔101〕記載の光学系。

〔0362〕〔104〕 前記光学系を内視鏡内部の光学手段に配置したことを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

〔0363〕〔105〕 前記内視鏡が撮像素子を使用した内視鏡であることを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

〔0364〕〔106〕 前記光学系を内視鏡対物光学系に使用したことを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

〔0365〕〔107〕 前記光学系の物体側に保護透明板を配置したことを特徴とする上記〔106〕記載の光学系。

〔0366〕〔108〕 前記光学系の物体側の面を平面としたことを特徴とする上記〔106〕記載の光学系。

〔0367〕〔109〕 前記光学系の像側の面を平面としたことを特徴とする上記〔106〕記載の光学系。

〔0368〕〔110〕 前記光学系の像側の面と撮像素子を密着したことを特徴とする上記〔109〕記載の光学系。

〔0369〕〔111〕 光学系の結像面にオプティカルファイバーバンドルを光学系と別体に配置したことを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

〔0370〕〔112〕 前記光学系の像側の面とオプティカルファイバーバンドルを密着したことを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

〔0371〕〔113〕 光学系の物体側の面を保護用透明板としたことを特徴とする上記〔111〕記載の光学系。

〔0372〕〔114〕 前記光学系の物体側の面を平面としたことを特徴とする上記〔111〕記載の光学系。

【0373】〔115〕 先端部分の第1面をガラス又はサファイア等の結晶材料で構成したことを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

【0374】〔116〕 内視鏡対物光学系の第1面は内視鏡外装部より引っ込んでいることを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

【0375】〔117〕 内視鏡対物光学系の第1面は内視鏡外装部より出っ張っていることを特徴とする上記〔104〕記載の光学系。

【0376】〔118〕 前記光学系が内視鏡用カメラアダプター内部に配置され、前記光学系を介して観察像を撮像素子に投影することを特徴とする上記〔1〕から〔55〕の何れか1項記載の光学系。

【0377】〔119〕 前記光学系の前又は後に平面ガラスが設けられていることを特徴とする上記〔118〕記載の光学系。

【0378】〔120〕 前記光学系と他の光学系又は結像面との間隔を可変にする手段を有することを特徴とする上記〔118〕記載の光学系。

【0379】〔121〕 前記光学系と他の光学系での反射回数の総和が偶数回であることを特徴とする上記〔118〕記載の光学系。

【0380】〔122〕 前記内視鏡用カメラアダプターが反射回数の総和が奇数回である光学系と電気的像転回路とから構成されていることを特徴とする上記〔118〕記載の光学系。

【0381】〔123〕 前記内視鏡用カメラアダプターが半透過反射面により光路が2つに分割されることを特徴とする上記〔118〕記載の光学系。

【0382】〔124〕 観察者の観察光路は、観察光学系から前記内視鏡用カメラアダプターに入射する光軸と略平行であること特徴とする上記〔118〕記載の光学系。

【0383】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、回転対称な透過光学系に比べて小型で、収差の発生が少ない光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の光学系の断面図である。

【図2】本発明の実施例2の光学系の断面図である。

【図3】本発明の実施例3の光学系の断面図である。

【図4】本発明の実施例4の光学系の断面図である。

【図5】本発明の実施例5の光学系の断面図である。

【図6】本発明の実施例6における反射作用を持つ面の構成を例示するための図である。

【図7】本発明の実施例7の光学系の断面図である。

【図8】本発明の実施例8の光学系の断面図である。

【図9】本発明の実施例9の光学系の断面図である。

【図10】本発明の実施例10の光学系の断面図である。

【図11】本発明の実施例11の光学系の断面図である。

【図12】本発明の実施例12の光学系の断面図である。

【図13】本発明の実施例13の光学系の断面図である。

【図14】本発明の実施例14の光学系の光路図である。

【図15】本発明の実施例15の光学系の光路図である。

【図16】本発明の実施例16の光学系の光路図である。

【図17】本発明の実施例17の光学系の光路図である。

【図18】本発明の実施例18の光学系の光路図である。

【図19】本発明の実施例19の光学系の光路図である。

【図20】本発明の実施例20の光学系の光路図である。

【図21】本発明の実施例21の光学系の光路図である。

【図22】本発明の実施例22の光学系の光路図である。

【図23】本発明の実施例23の光学系の光路図である。

【図24】本発明の実施例24の光学系の光路図である。

【図25】本発明の実施例25の光学系の光路図である。

【図26】本発明の実施例26の光学系の光路図である。

【図27】本発明の実施例27の光学系の光路図である。

【図28】本発明の実施例28の光学系の光路図である。

【図29】本発明の実施例29の光学系の加工方法を説明するための図である。

【図30】本発明の実施例30の光学系の製作方法を説明するための図である。

【図31】本発明の光学系を接眼光学系に用いた実施例31の光路図である。

【図32】実施例31において本発明の別の光学系を用いた場合の光路図である。

【図33】本発明の光学系を結像光学系に用いた実施例32の光路図である。

【図34】実施例32において本発明の別の光学系を用いた場合の光路図である。

【図35】本発明の光学系をアフォーカル光学系に用いた実施例33の光路図である。

【図36】本発明の別の光学系をアフォーカル光学系に用いた実施例34の光路図である。

【図37】本発明のさらに別の光学系をアフォーカル光学系に用いた実施例35の光路図である。

【図38】カメラの概略の構成を示す斜視図である。

【図39】本発明の光学系をカメラのファインダーの接眼光学系に用いた実施例36の光路図である。

【図40】本発明の光学系をカメラのファインダーの対物光学系に用いた実施例37の光路図である。

【図41】本発明の光学系をカメラのファインダーの光学系全体に用いた実施例38の光路図である。

【図42】双眼鏡の斜視図である。

【図43】本発明の光学系を双眼鏡の接眼光学系に用いた実施例39の光路図である。

【図44】本発明の光学系を双眼鏡の対物光学系に用いた実施例40の光路図である。

【図45】本発明の光学系を双眼鏡の光学系全体に用いた実施例41の光路図である。

【図46】本発明の光学系を虚像式ファインダーの光学系に用いた実施例42の光路図である。

【図47】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例43の光路図である。

【図48】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例44の光路図である。

【図49】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例45の光路図である。

【図50】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例46の光路図である。

【図51】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例47の光路図である。

【図52】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例48の光路図である。

【図53】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例49の光路図である。

【図54】本発明の光学系をカメラ撮影光学系に用いた実施例50の光路図である。

【図55】本発明の光学系を防振光学系に用いた実施例51の光路図である。

【図56】本発明の光学系を屈折力可変光学系に用いた実施例52の光路図である。

【図57】本発明の光学系をカメラのファインダー内表示光学系に用いた実施例53の光路図である。

【図58】本発明の光学系をカメラのAF光学系に用いた実施例54の光路図である。

【図59】本発明の光学系をカメラのAE光学系に用いた実施例55の光路図である。

【図60】本発明の光学系をカメラのデータ写し込み光学系に用いた実施例56の光路図である。

【図61】本発明の光学系を撮影レンズのコンバータレンズに用いた実施例57の光路図である。

【図62】本発明の光学系を銀塩フィルムを配置して構成したカメラに用いた実施例58の光路図である。

【図63】本発明の光学系を撮像素子を配置して構成したカメラに用いた実施例59の光路図である。

【図64】本発明の光学系を観察用光学系に用いた実施例60の光路図である。

【図65】本発明の光学系をイメージローテーターに用いた実施例61の光路図である。

【図66】本発明の光学系を顕微鏡の対物レンズに用いた実施例62の光路図である。

【図67】本発明の光学系を顕微鏡の接眼レンズに用いた実施例63の光路図である。

【図68】本発明の光学系を顕微鏡のリレーレンズに用いた実施例64の光路図である。

【図69】本発明の光学系を顕微鏡用照明光学系に用いた実施例65の光路図である。

【図70】本発明の光学系を顕微鏡落射型照明光学系に用いた実施例66の光路図である。

【図71】本発明の光学系を顕微鏡透過型照明光学系に用いた実施例67の光路図である。

【図72】本発明の光学系をマルチディスカッション顕微鏡に用いた実施例68の光路図である。

【図73】本発明の光学系を顕微鏡用描画装置に用いた実施例69の光路図である。

【図74】本発明の光学系を自動焦点調節顕微鏡に用いた実施例70の光路図である。

【図75】本発明の光学系を倒立型顕微鏡に用いた実施例71の光路図である。

【図76】イメージ光ファイバー束やリレーレンズ系を用いた内視鏡の概略の構成を示す図である。

【図77】電子内視鏡の概略の構成を示す図である。

【図78】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例72の光路図である。

【図79】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例73の光路図である。

【図80】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例74の光路図である。

【図81】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例75の光路図である。

【図82】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例76の光路図である。

【図83】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例77の光路図である。

【図84】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例78の光路図である。

【図85】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例79の光路図である。

【図86】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用いた実施例81の光路図である。

【図87】本発明の光学系を内視鏡の対物光学系に用い

た実施例82の光路図である。

【図88】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例83の光路図である。

【図89】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例84の光路図である。

【図90】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例85の光路図である。

【図91】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例86の光路図である。

【図92】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例87の光路図である。 10

【図93】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例88の光路図である。

【図94】本発明の光学系を双眼実体顕微鏡の光学系に用いた実施例89の光路図である。

【図95】本発明の光学系を内視鏡用カメラアダプターに用いた実施例90の光路図である。

【図96】本発明の光学系を内視鏡用カメラアダプターに用いた実施例91の光路図である。

【図97】本発明の光学系を内視鏡用カメラアダプターに用いた実施例92の光路図である。 20

【図98】本発明の光学系を内視鏡用カメラアダプターに用いた実施例93の光路図である。

【図99】偏心して配置された凹面鏡により発生する像面湾曲を示す図である。

【図100】偏心して配置された凹面鏡により発生する軸上非点収差を示す図である。

【図101】偏心して配置された凹面鏡により発生する軸上コマ収差を示す図である。

【図102】本発明の光学系における焦点距離を説明するための図である。 30

【符号の説明】

M、M1、M2、M3、M4、M5…凹面鏡（反射面）

S…光学系

A…回転非対称面

T1…第1の透過面

T2…第2の透過面

R1…第1の反射面

R2…第2の反射面

R3…第3の反射面

R4…第4の反射面

1…瞳（開口）

2…光軸

3…第1面

4…第2面

5…像面

6…第3面

7…第4面

8…第5面

10…光学系

11…透明体

12…アルミコート層

13…銀コート層

14…第1の部分

15…第2の部分

16…第3の部分

17…接眼光学系

18…結像光学系

19…ファインダー

20…撮影レンズ

21…カメラ

23…双眼鏡

24、24₁、24₂…レンズ系

25…正のレンズ群

26…負のレンズ群

27…接眼光学系

28…対物（結像）光学系

29…虚像式アフォーカル光学系

30、31…レンズ群

32…負レンズ群

33…正レンズ群

34、35、36…レンズ群

37…頂角可変プリズム

38…第1偏心光学系

39…第2偏心光学系

40…撮影レンズ

41…クイックリターンミラー

42…ペンタプリズム

43…接眼レンズ

44…表示部

45…AF測距部

46…AE測定部

47…写真フィルム

48…日付表示部

49…コンバーターレンズ

50…撮像素子

51…物体

52…イメージローテーター

53…対物レンズ

40 54…接眼レンズ

55…標本面

56…リレーレンズ

57…光源

58…反射ミラー

59…光束分割系

60…光偏向系

61…描画面

62…光偏向反射プリズム

63…焦点検出器

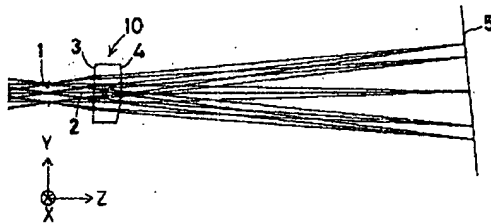
50 64…内視鏡（硬性鏡）

65…挿入部
66…カメラ
67…モニター
68…光源装置
69…先端部
70…ライトガイドケーブル
71…電子内視鏡
72…光源装置
73…ビデオプロセッサ
74…モニター
75…VTRデッキ
76…ビデオディスク
77…ビデオプリンタ
78…挿入部
79…先端部
80…保護ガラスを兼用するレンズ

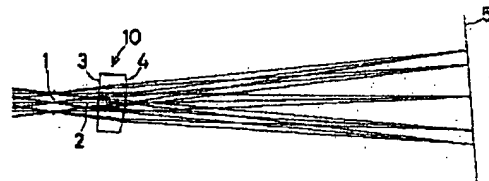
* 81…2次元撮像素子
82…オプティカルファイバー
83…透明保護板
84…対物光学系
85…変倍光学系
86…結像光学系
87…接眼光学系
88…物体面
89…対物光学系
10 91…内視鏡の観察光学系
92…カメラアダプター
93…2次元撮像素子
94…平行平板
95…光路分割面
96…光軸及びパワー補正光学素子

*

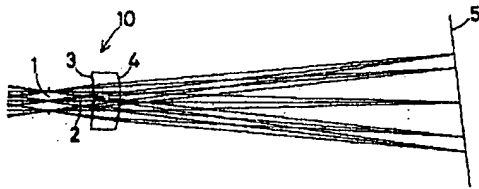
【図1】



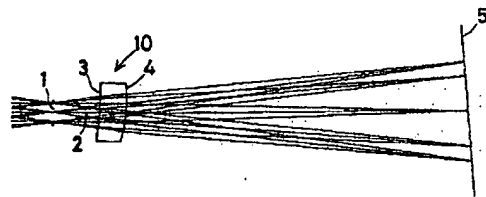
【図2】



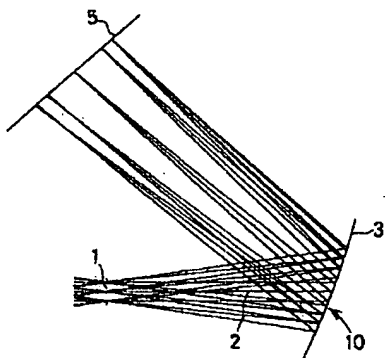
【図3】



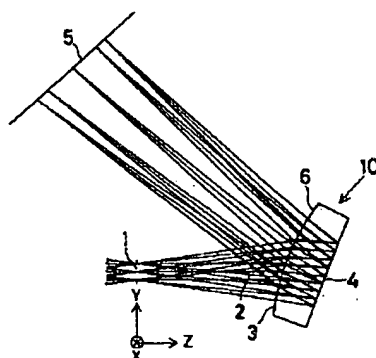
【図4】



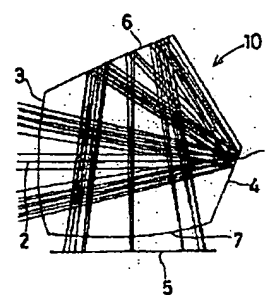
【図5】



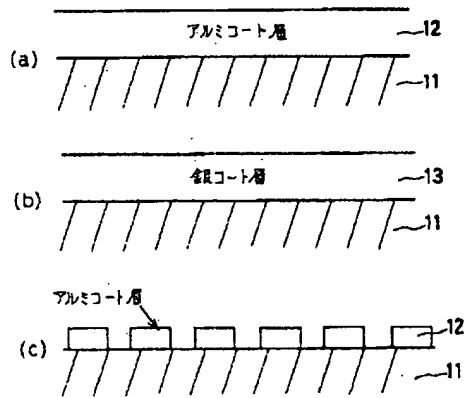
【図7】



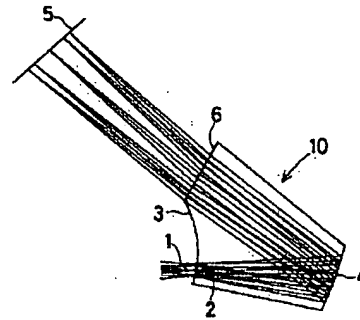
【図10】



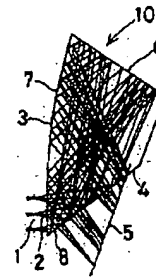
【図6】



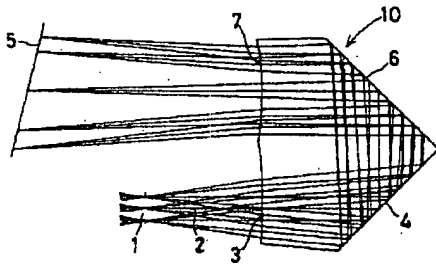
【図8】



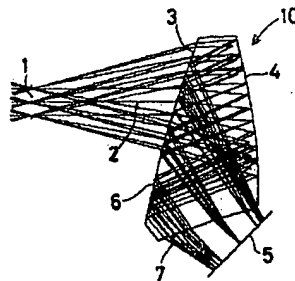
【図13】



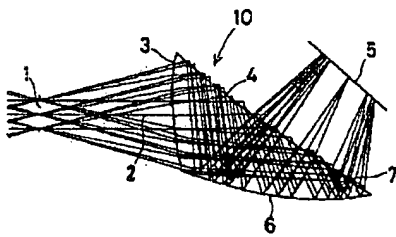
【図9】



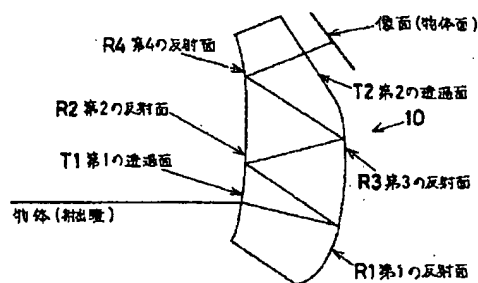
【図11】



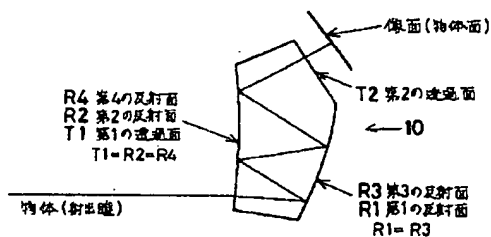
【図12】



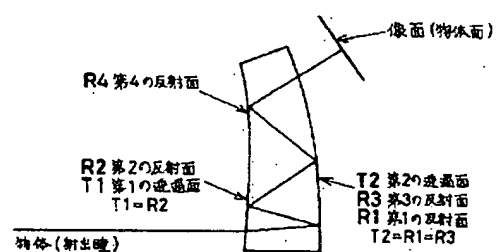
【図14】



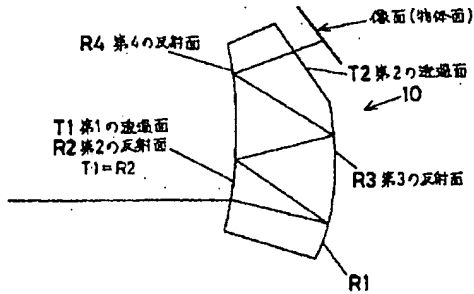
【図25】



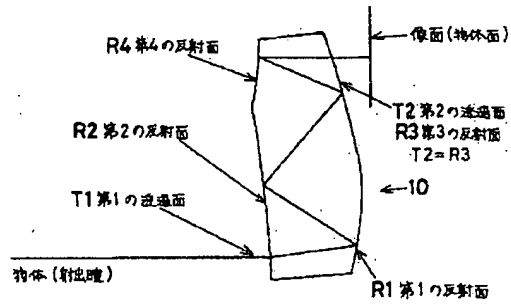
【図26】



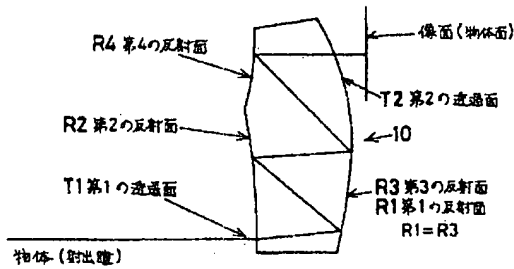
【図15】



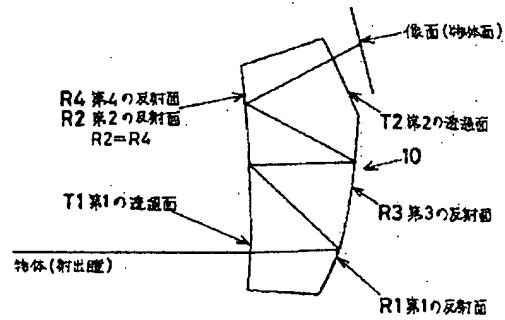
【図16】



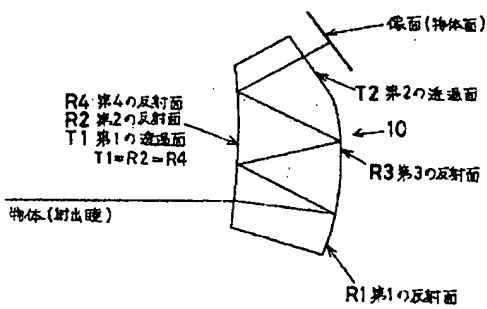
【図17】



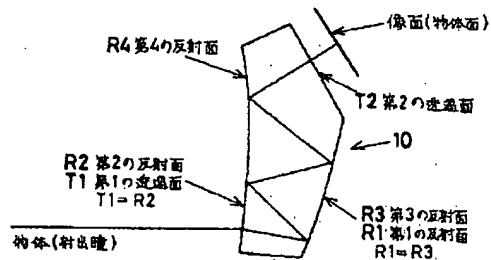
【図18】



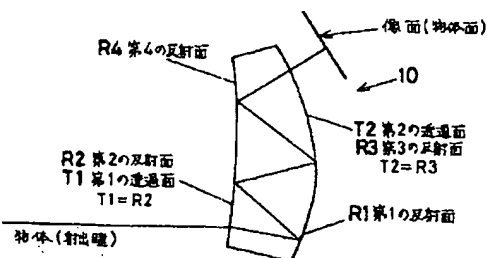
【図19】



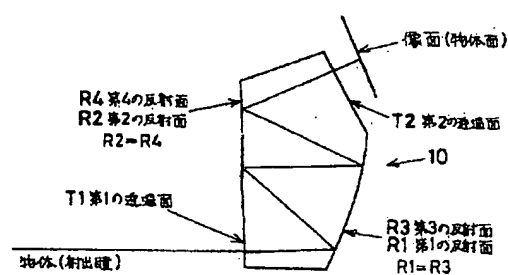
【図20】



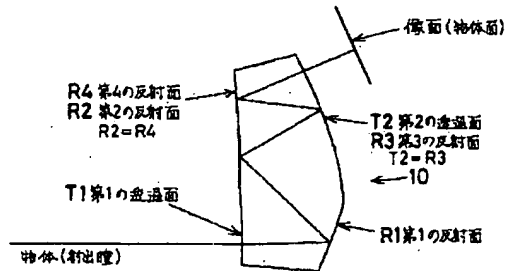
【図21】



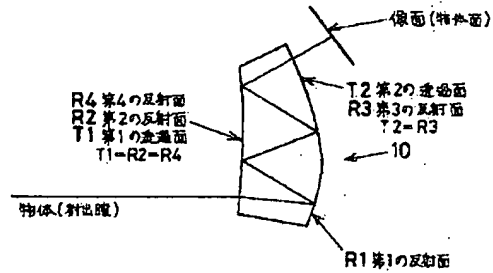
【図22】



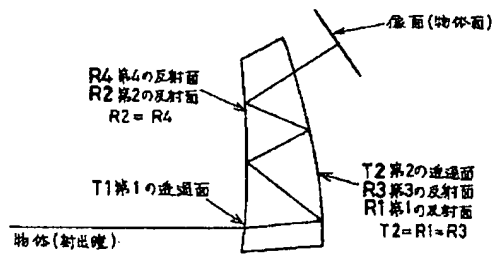
【図23】



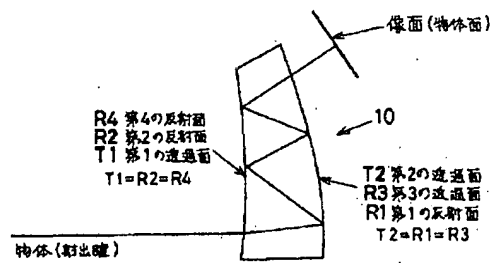
【図24】



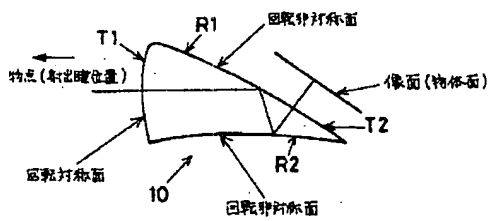
【図27】



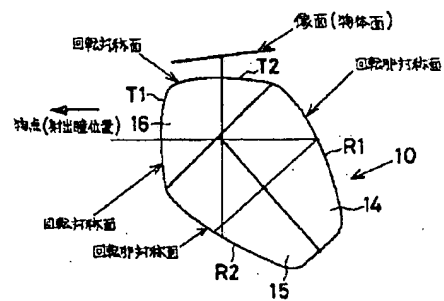
【図28】



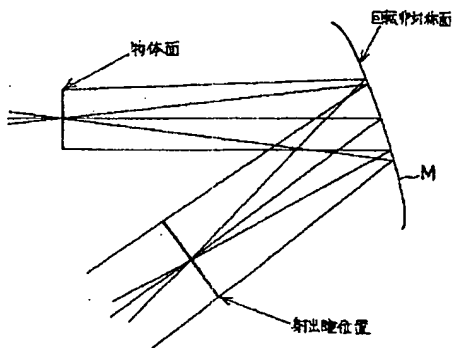
【図29】



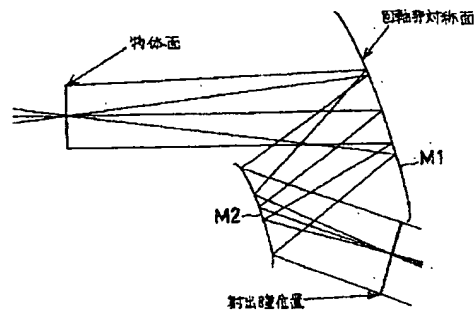
【図30】



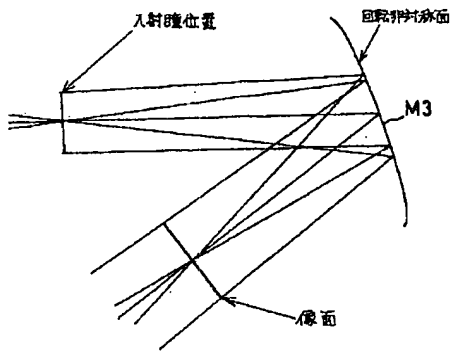
【図31】



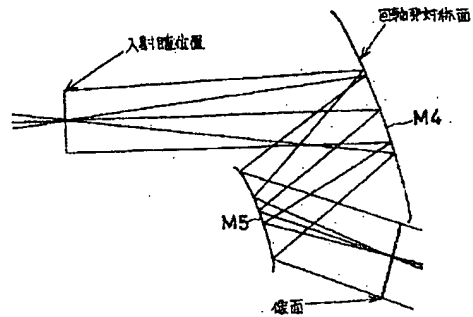
【図32】



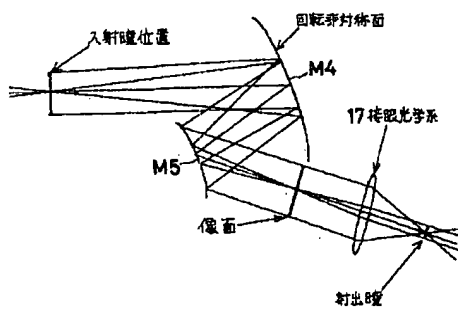
【図33】



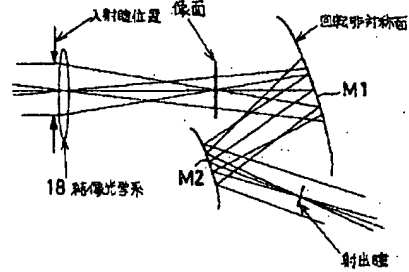
【図34】



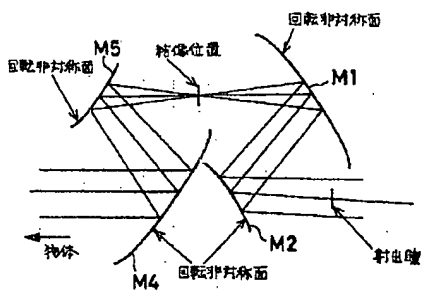
【図35】



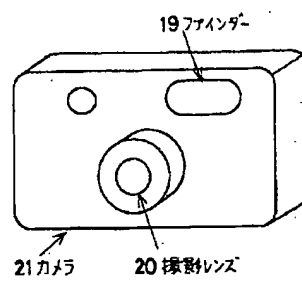
【図36】



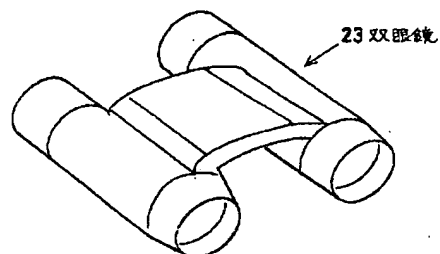
【図37】



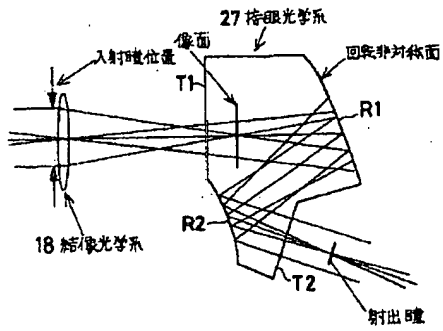
【図38】



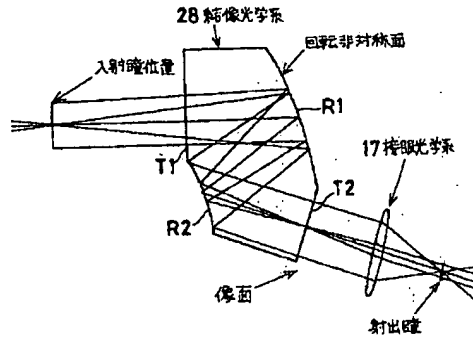
【図42】



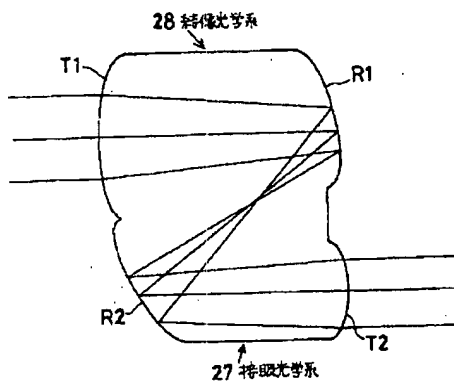
【圖39】



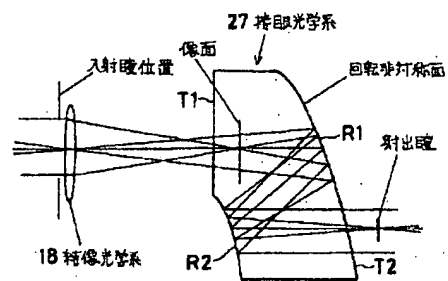
【圖40】



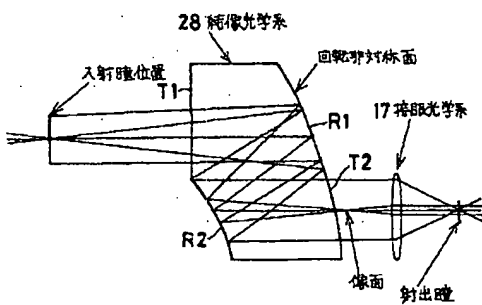
【圖41】



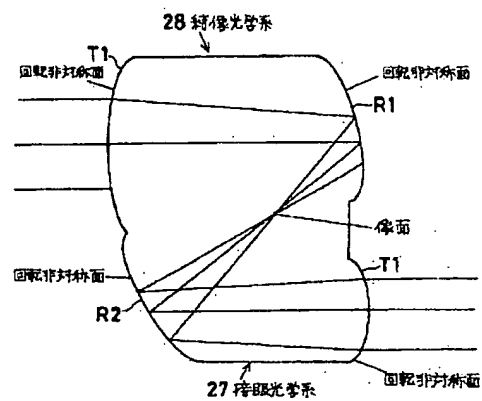
【圖43】



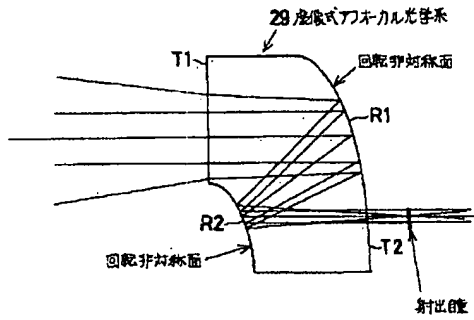
【圖44】



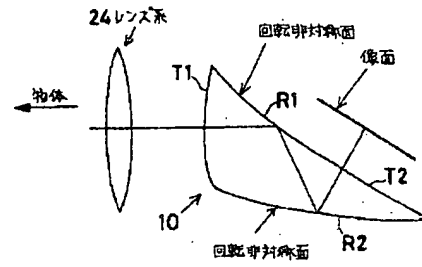
【圖45】



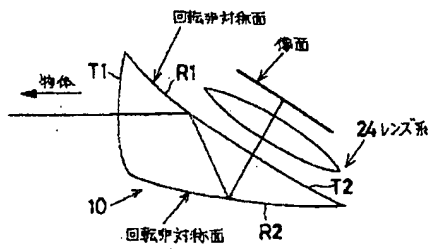
【図46】



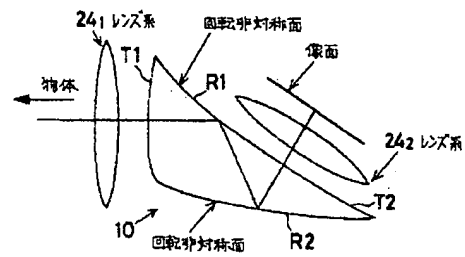
【図47】



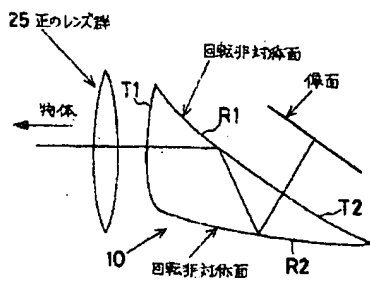
【図48】



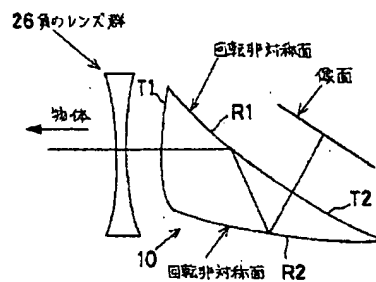
【図49】



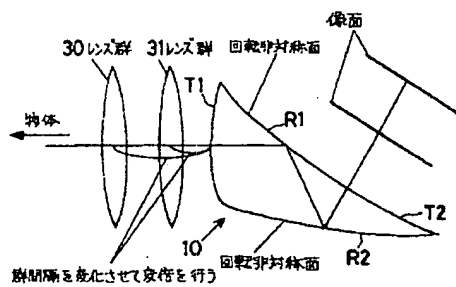
【図50】



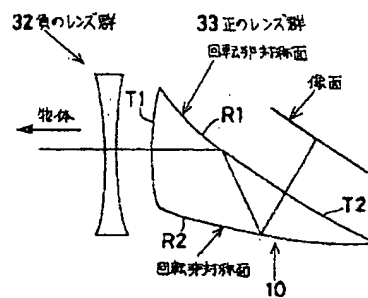
【図51】



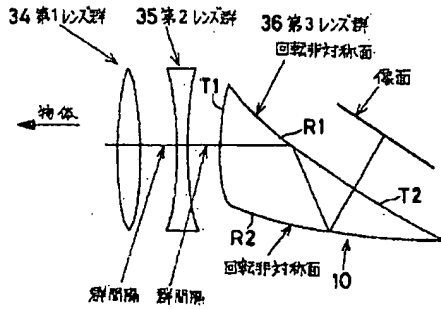
【図52】



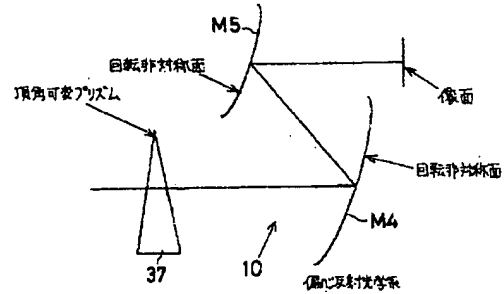
【図53】



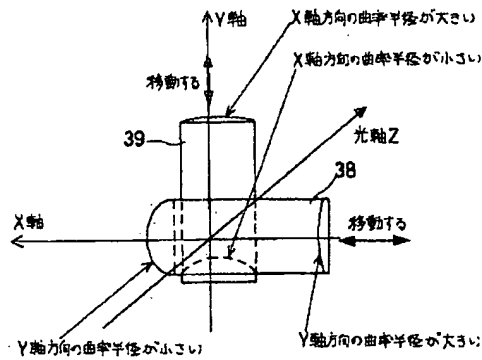
【図54】



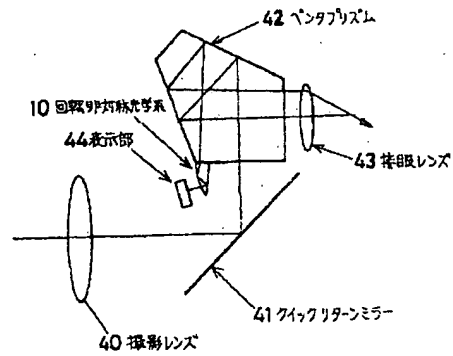
【図55】



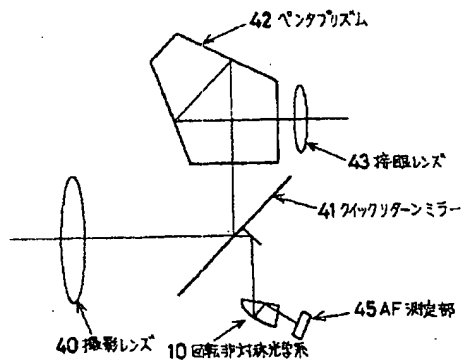
【図56】



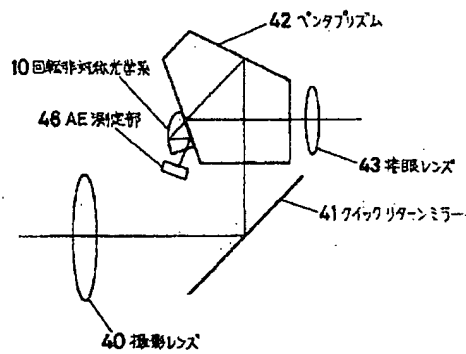
【図57】



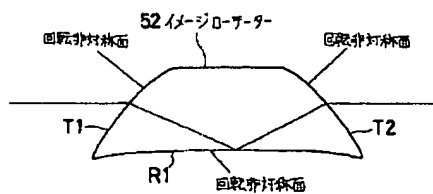
【図58】



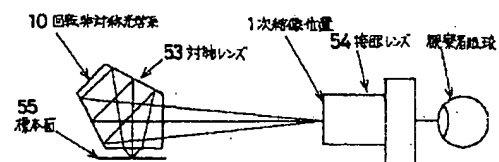
【図59】



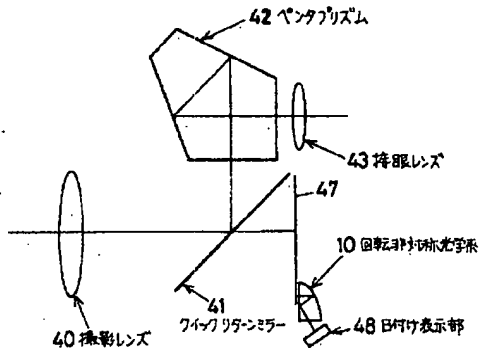
【図65】



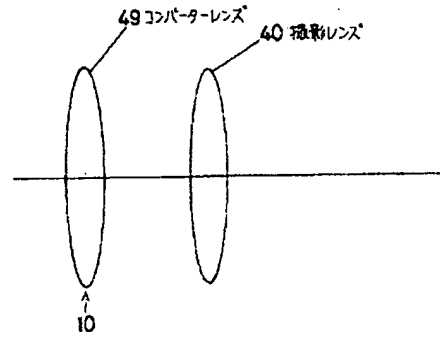
【図66】



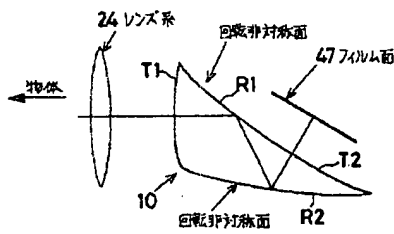
【図60】



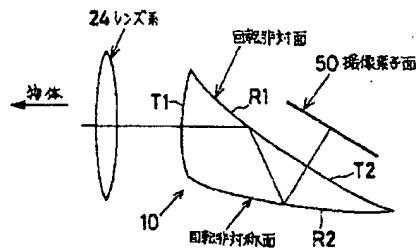
【図61】



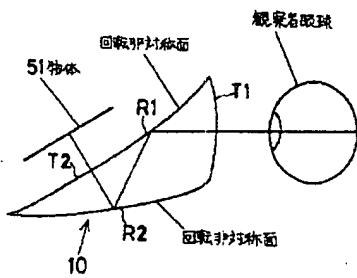
【図62】



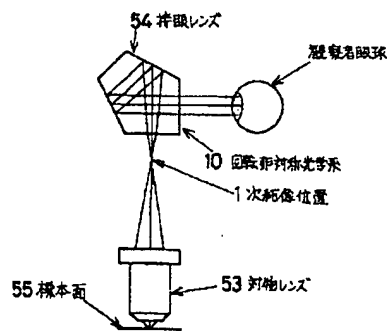
【図63】



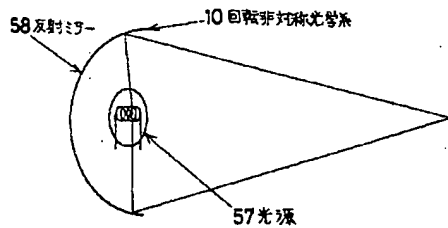
【図64】



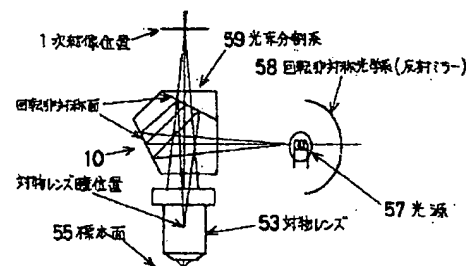
【図67】



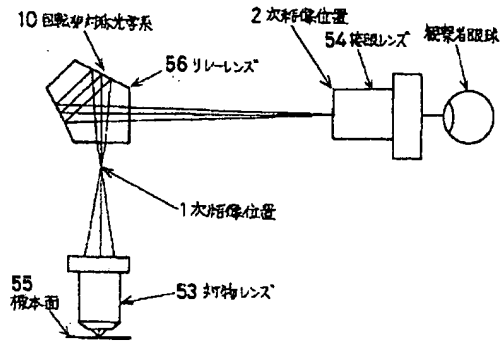
【図69】



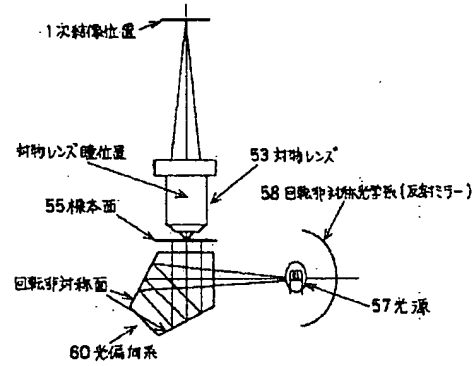
【図70】



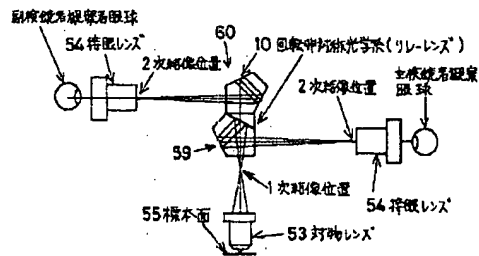
【図68】



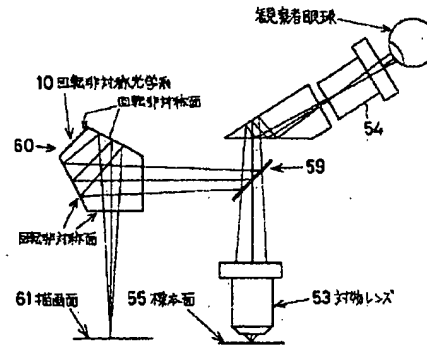
【図71】



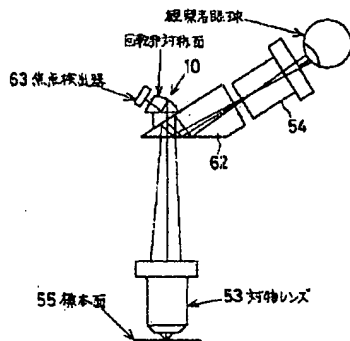
【図72】



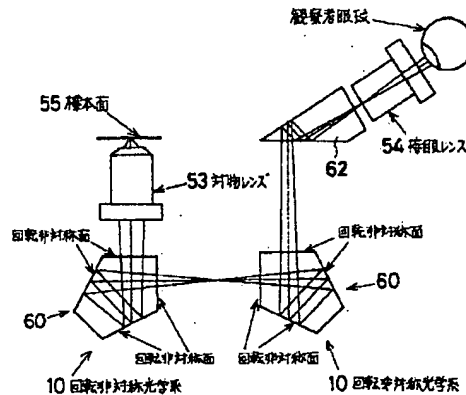
【図73】



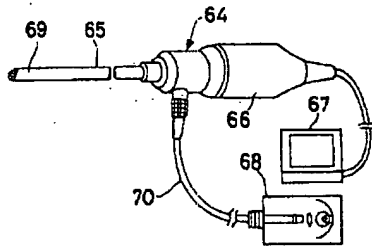
【図74】



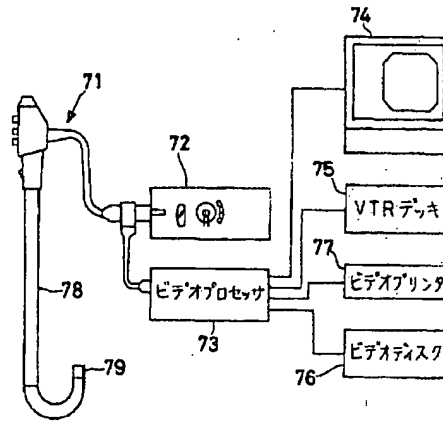
【図75】



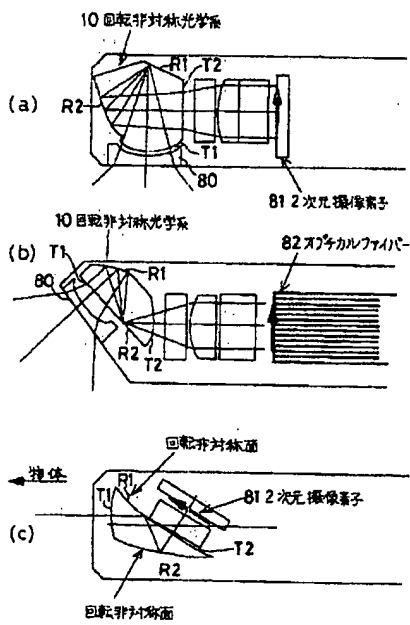
【図76】



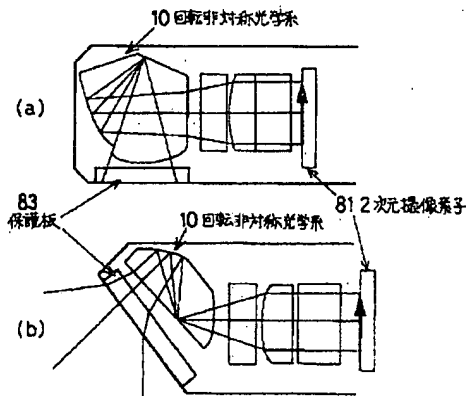
【図77】



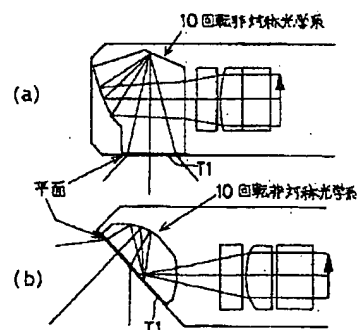
【図78】



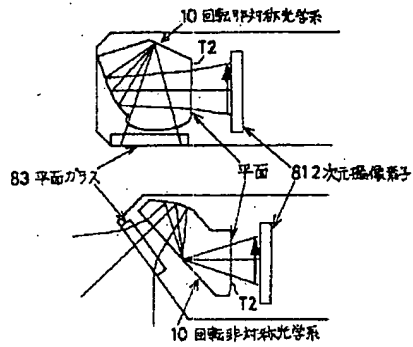
【図79】



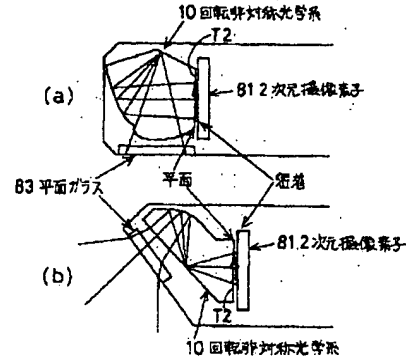
【図80】



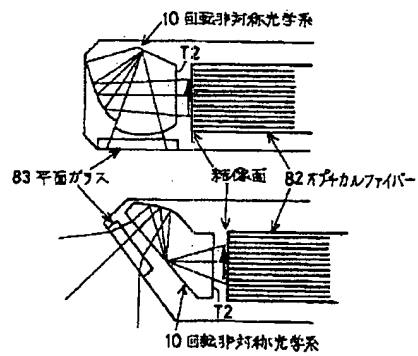
【図81】



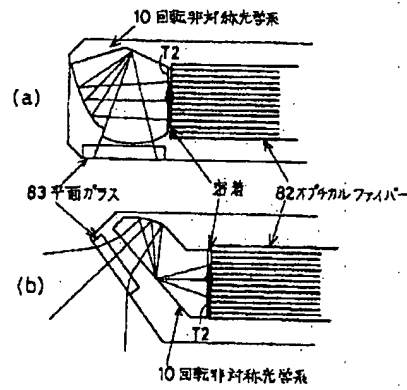
【図82】



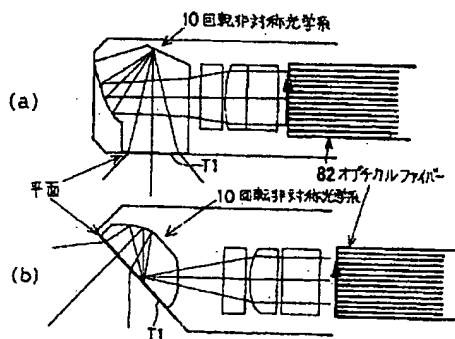
【図83】



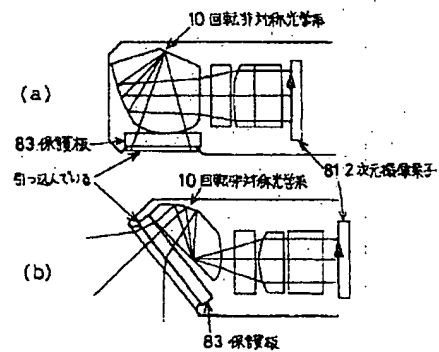
【図84】



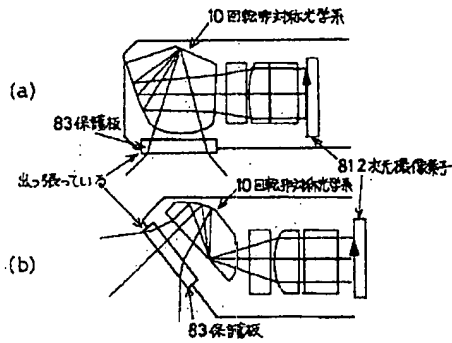
【図85】



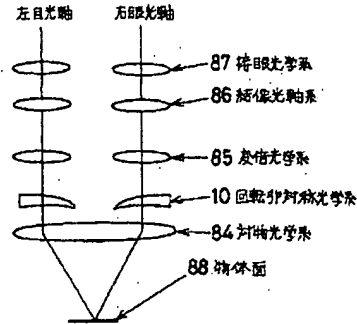
【図86】



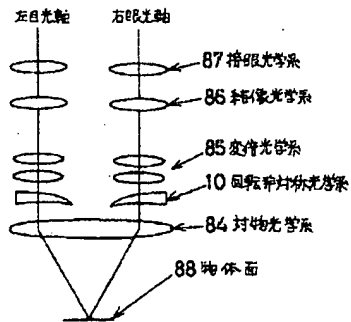
【図87】



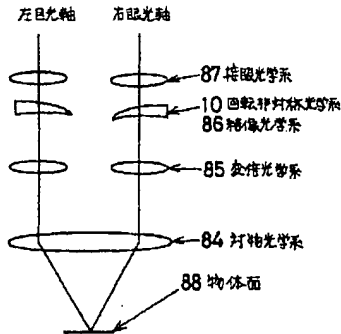
【図88】



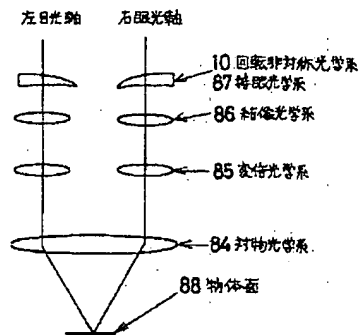
【図89】



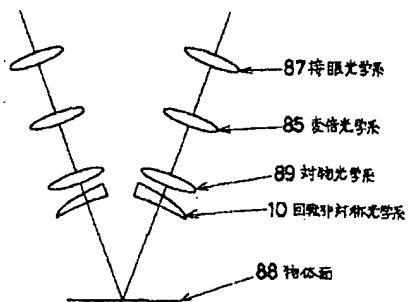
【図90】



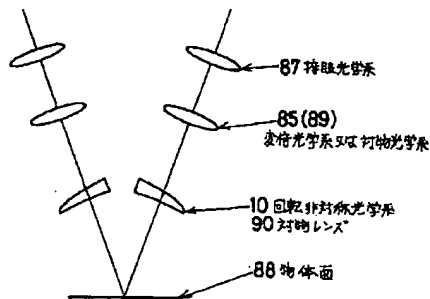
【図91】



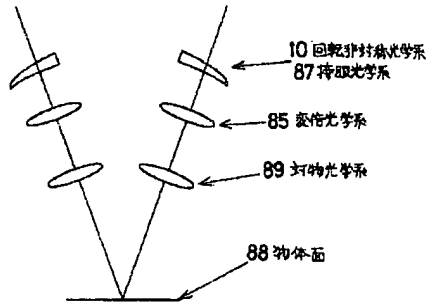
【図92】



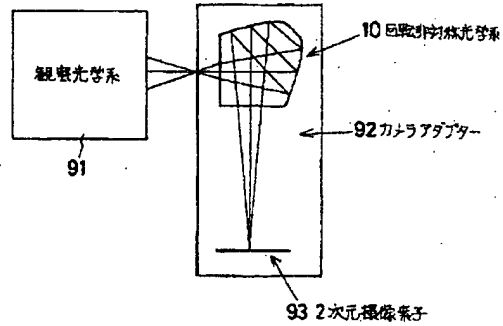
【図93】



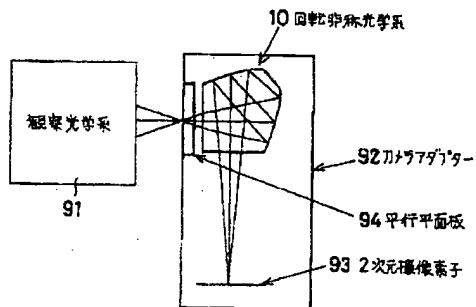
【図94】



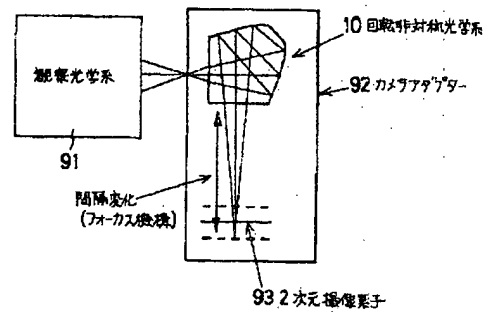
【図95】



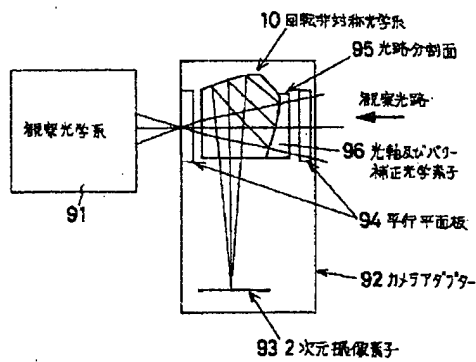
【図96】



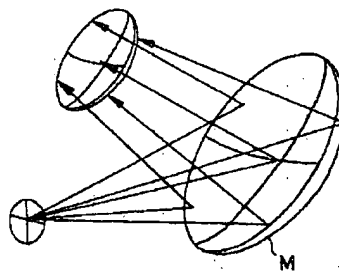
【図97】



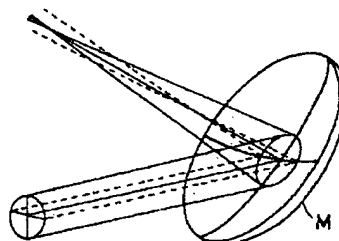
【図98】



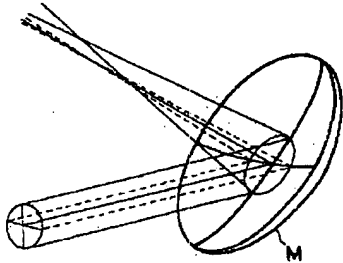
【図99】



【図100】



【図101】



【図102】

